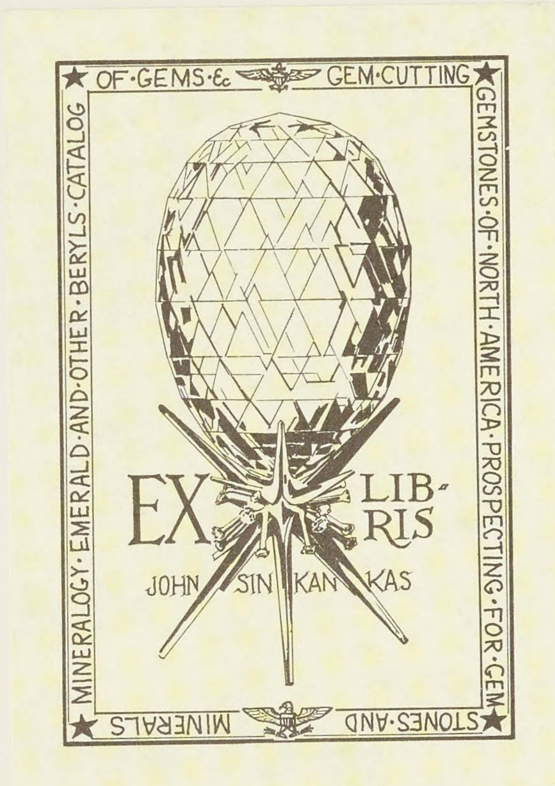

MINERALOGY·EMERALD·AND·OTHER·BERYLS·CATALOG
OF·GEMS·&c
GEM·CUTTING
GEMSTONES·OF·NORTH·AMERICA·PROSPECTING·FOR·GEM
STONES·AND
MINERALS
EX LIB-RIS
JOHN SIN KAN KAS

A. LACROIX

SECRÉTAIRE PERPÉTUEL DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES
PROFESSEUR AU MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

MINÉRALOGIE DE MADAGASCAR

TOME II

MINÉRALOGIE APPLIQUÉE
LITHOLOGIE

Ce volume contient 29 planches hors texte, et 11 cartes dans le texte.

PARIS
AUGUSTIN CHALLAMEL, ÉDITEUR
RUE JACOB, 17
Librairie maritime et coloniale.

1922

MINÉRALOGIE
DE
MADAGASCAR

A. LACROIX

SECRÉTAIRE PERPÉTUEL DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES
PROFESSEUR AU MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

MINÉRALOGIE
DE
MADAGASCAR

TOME II

MINÉRALOGIE APPLIQUÉE
LITHOLOGIE

Ce volume contient 29 planches hors texte, et 11 cartes dans le texte.

PARIS
AUGUSTIN CHALLAMEL, ÉDITEUR
RUE JACOB, 17
Librairie maritime et coloniale.

1922

AVANT-PROPOS

En présentant cet ouvrage au lecteur, j'ai annoncé qu'il comprendrait deux volumes. Les documents que j'ai réunis sur Madagascar sont si nombreux qu'au cours de la rédaction, j'ai été entraîné au delà des limites que je m'étais primitivement fixées. Un troisième volume est devenu nécessaire ; la carte géologique en couleurs y trouvera sa place naturelle.

Le présent Tome II comprend deux grandes divisions.

La première est consacrée à la *Minéralogie appliquée* ; chaque métal, chaque produit minéral non métallique, y est considéré, non plus au point de vue de ses propriétés physiques et chimiques qui sont traitées dans le tome I, mais à celui de son utilisation pratique. J'ai décrit minutieusement ses conditions de gisement, en insistant sur les gisements qui sont exploités ou exploitables, en indiquant, pour les substances dont l'emploi est le moins courant, les utilisations industrielles réalisées ou qu'il est possible d'envisager.

L'étude des gisements de l'*or*, des *gemmes* et des *minéraux radioactifs* a été particulièrement développée en raison de leur importance pour la Colonie et aussi des particularités spéciales, intéressantes à un point de vue général, qu'ils présentent à Madagascar. D'une façon générale, je me suis attaché à dégager les caractéristiques des gisements et non point à donner de minutieux détails sur des exploitations particulières qui n'auraient, d'ailleurs, qu'un minime intérêt, en raison du caractère éphémère de beaucoup d'entre elles.

En ce qui concerne les *gemmes* et les *minéraux radioactifs*, il m'a paru utile de donner quelque développement à l'exposé des méthodes de détermination par des

procédés physiques ou chimiques. Pour les *gemmes*, ayant eu à ma disposition de très nombreuses pierres taillées, beaucoup de déterminations de constantes ont pu être effectuées ; je m'en suis servi pour établir des tables permettant, non seulement de distinguer les unes des autres les pierres précieuses de même couleur rencontrées à Madagascar, mais encore, dans certains cas, de différencier les pierres malgaches de celles provenant de gisements étrangers et offrant les mêmes caractères extérieurs.

Pour les *minéraux radioactifs*, on trouvera plus loin des détails sur des méthodes d'analyses et de détermination de la radioactivité ; ces renseignements seront utiles non seulement pour les prospecteurs dont ils seront les guides, mais encore pour les minéralogistes, dans le laboratoire desquels ces méthodes ne sont pas encore familières.

Pour chaque produit, on trouvera des statistiques de production ; grâce à l'obligeance du Service des Mines de Tananarive, il m'a été possible de les tenir à jour jusqu'à l'année 1921 incluse.

La partie la plus importante de ce volume comprend la LITHOLOGIE, ou plutôt une portion de la Lithologie. J'ai considéré d'abord les roches du Massif cristalin, étudiant successivement les *roches éruptives* intrusives anciennes, puis les *schistes cristallins*, attachant une grande importance à leur composition chimique ; plus de 450 analyses chimiques nouvelles de roches sont données dans cet ouvrage ; elles m'ont permis de situer les roches malgaches dans une systématique dont, depuis plusieurs années, je développe les principes dans mon cours du Muséum d'Histoire naturelle.

En ce qui concerne les *schistes cristallins*, j'ai présenté leur étude sous une forme explicative ; ne me contentant pas de préciser leur composition, j'ai cherché à distinguer ceux qui proviennent de la transformation de roches éruptives de ceux qui sont le produit de la métamorphose de vieux sédiments. Dans l'un et l'autre groupe, se rencontrent, à Madagascar, de nombreux types intéressants et parfois même nouveaux. L'examen des phénomènes de contact des roches éruptives et des roches sédimentaires, les déformations physiques des roches éruptives sous l'influence des actions orogéniques ont fait l'objet de chapitres spéciaux ayant pour but d'éclairer la question de l'origine des schistes cristallins.

En l'absence de formations sédimentaires datées dans le Massif cristallin, aucune notion sur l'âge des roches éruptives que renferme celui-ci n'a pu être établie. Par contre, quelques données chronologiques ont été recueillies au sujet des nombreux centres volcaniques existant au milieu des sédiments de l'Ouest et, par analogie, sur ceux que supportent les anciennes roches du Massif cristallin. C'est pourquoi j'ai décrit à part toutes les roches dont il est possible d'établir, d'une façon certaine, l'âge au moins post-liasique ; les unes sont d'origine intrusive, les autres sont nettement volcaniques ; il en est dont les appareils conservés témoignent d'une grande jeunesse.

Ce sont les types *intrusifs* seulement qui sont traités dans ce volume ; ils occupent une surface minime quand on les compare aux laves épanchées, mais ils offrent une grande complexité et par suite un grand intérêt au point de vue minéralogique et chimique, ce qui légitime la place importante que je leur ai donnée dans ce livre.

Quant aux laves, elles seront étudiées dans le Tome III et, à leur suite, les roches sédimentaires. Enfin je m'y occuperai longuement des divers types d'altération qui jouent un rôle si considérable dans la destruction de toutes les roches des pays tropicaux en général et de Madagascar en particulier : ils ont une très grande importance pratique à cause de l'influence qu'ils exercent sur les conditions d'exploitation des produits utiles renfermés dans les roches soumises à cette altération.

Les chapitres dont le contenu vient d'être brièvement indiqué ont été conçus à un point de vue essentiellement analytique ; dans une série de chapitres spéciaux, on trouvera, comme conclusion, un essai de synthèse, une vue d'ensemble sur la Lithologie de Madagascar.

A. Lx.

MINÉRALOGIE DE MADAGASCAR

TROISIEME PARTIE

MINÉRALOGIE APPLIQUÉE

(GITES MÉTALLIFÈRES ET MINÉRAUX)

CARACTÉRISTIQUES MINÉRALOGIQUES DE MADAGASCAR

Dans la Deuxième Partie de cet ouvrage, j'ai étudié les minéraux de Madagascar au point de vue de leurs propriétés et de leurs modes de gisement, sans me préoccuper de la possibilité d'utilisation pratique de certains d'entre eux. Je me propose ici de les considérer à ce point de vue spécial et de préciser les conditions de gisements de ceux qui ont un intérêt économique.

On a vu qu'en ce qui concerne sa constitution géologique, la Grande Ile peut être divisée en deux parties très inégales, la Région sédimentaire de l'Ouest, le Massif cristallin.

La *Région sédimentaire* renferme des gisements de Combustibles fossiles, houille, lignite, tourbe. Les deux derniers n'ont pas de valeur économique industrielle; les gisements houillers, limités à la région du Sud-Ouest, ont été à peine prospectés et l'on ne peut se faire encore une opinion précise sur leur importance. Depuis quelques années, d'actives prospections sont effectuées sur la région triasique de l'Ouest, où des suintements de bitume abondent; là encore seul l'avenir dira s'il s'y rencontre du pétrole et de l'asphalte exploitables fructueusement.

Quelques gisements de phosphate de chaux viennent d'être signalés dans le Crétacé inférieur.

Les innombrables épanchements volcaniques et les intrusions de roches

éruptives ne semblent avoir été accompagnés d'aucune émanation métallifère importante; un peu de cuivre natif dans des basaltes, un gisement de contact de magnétite, quelques veinules plombifères, tel est le bilan fort maigre à signaler.

En définitive, *jusqu'ici* cette vaste région sédimentaire paraît pauvre en produits minéraux utilisables ; c'est dans le Massif cristallin, et particulièrement sur les Hauts Plateaux, que sont concentrées les richesses minérales *certaines* de la Colonie.

Le *Massif cristallin* est une vieille terre, émergée au moins depuis le Permien. Depuis lors, sans relâche, l'érosion l'a entamée, l'a usée.

Ses caractéristiques au point de vue minier présentent l'analogie la plus grande avec celles des autres débris du continent de Gondwana, avec les portions cristallophylliennes de l'Afrique australe et de l'Inde[1].

Dans cet ancien môle depuis si longtemps soumis à un régime continental, peu ou pas de filons métallifères proprement dits, mais par contre, dans les schistes cristallins, une minéralisation aurifère diffuse, pauvre, mais très généralisée, avec des veines quartzeuses interstratifiées renfermant souvent de l'or, accompagné ou non de pyrite et plus rarement de minéraux cuprifères.

Dans les roches éruptives basiques, il faut signaler quelques ségrégations de minéraux ferrugineux titanifères, deux gîtes nickélifères, formés par voie secondaire aux dépens de péridotites, un petit nombre de contacts minéralisés de roches basiques ou de granite et de calcaire, gîtes cuprifères, avec un peu de plomb et de zinc.

Mais, en outre de l'or, la véritable richesse de la Colonie consiste dans certains des minéraux essentiels des schistes cristallins eux-mêmes ; gîtes de graphite répartis dans toute l'étendue de l'île, gîtes de fer (magnétite) localisés dans les quartzites, gîtes de corindon dans les micaschistes, enfin abondance des cristaux de quartz hyalin dans les cryptes des quartzites, de phlogopite dans les pyroxénites et des minéraux les plus variés fournis par les pegmatites; parmi ceux-ci, les gemmes, les minéraux radioactifs, les minerais de cérium, de zirconium, les micas sont exploitables et exploités.

Ce massif ancien a été découpé de tous côtés par des failles nombreuses; le long de ces dislocations, on voit apparaître dans la région du Nord, à la limite des schistes cristallins et du Trias, des filons auro-argentifères sans doute tertiaires, en tous cas post-triasiques, et quelques filons plombeux; mais sur tout le reste de son pourtour, il semble n'y avoir que peu ou pas de venues métallifères, bien qu'abondent des filons basiques et même des épanchements volcaniques en relation avec ces dislocations. Cette absence de filons métallifères est à peu près certaine dans l'Ouest; il faut être plus réservé dans les conclusions en ce qui concerne la

1. Il faut relever les grandes analogies minéralogiques et lithologiques de Madagascar et de Ceylan.

région si disloquée de l'Est, comprise entre la grande falaise et l'Océan Indien; elle est en effet partiellement couverte par l'épaisse forêt tropicale, les observations y sont difficiles, les recherches y ont été peu nombreuses jusqu'ici. J'ai recueilli des indices de quelques gisements plombifères; on connaît depuis peu plusieurs gisements cuprifères sur la côte Nord-Est, ils sont, en partie au moins, liés à des épanchements basaltiques.

Tel est, en raccourci, le résumé de ce qui va être développé dans les chapitres suivants. Il faut y ajouter qu'au point de vue pratique une circonstance spéciale a une importance primordiale. Je veux parler de l'intense décomposition de toutes les roches superficielles sous l'influence du climat tropical.

Madagascar est essentiellement un pays de Terre rouge, d'*argiles latéritiques*; les minéraux utiles, originellement disséminés dans des roches résistantes se trouvent donc actuellement noyés dans un milieu tendre qu'il est facile d'extraire à la pioche, d'abattre et de laver. Il n'est pas téméraire de dire que la plupart des gisements malgaches seraient inexploitables s'ils se trouvaient sous la latitude de la France. Le travail est donc facilité pour l'homme; celui-ci peut en outre profiter d'une intense préparation mécanique effectuée par la nature. Les gîtes originaux ont été profondément entamés par les actions séculaires, et comme conséquence, des éluvions et des alluvions d'une grande importance recèlent les minéraux lourds et inaltérables qui s'y sont maintenus et qui s'y sont concentrés. L'or, les minéraux des pegmatites, certains de ceux des gneiss de maints gisements, trop pauvres pour pouvoir être travaillés en place, sont facilement exploitables dans ces gisements secondaires. Pour le fer, des concentrations, d'origine chimique celles-là, dans la formation latéritique ont fourni jusqu'ici la plus grande partie du minerai utilisé.

Les faits qui viennent d'être brièvement relatés expliquent bien des particularités de la minéralogie de Madagascar que le lecteur a certainement remarquées dans le Tome I. Les sulfures y sont rares et avec eux tout le cortège des minéraux oxydés : carbonates, sulfates, phosphates, arséniates, etc., que l'on rencontre, formés à leurs dépens, dans tant d'autres pays. Parmi les oxydes, seuls abondent ceux qui font partie intégrante des roches éruptives ou métamorphiques. La minéralogie de Madagascar est essentiellement une minéralogie de silicates et avec eux se rencontrent en quantité exceptionnellement grande, des minéraux renfermant des terres rares et particulièrement des niobates.

CHAPITRE PREMIER

GITES METALLIFÈRES (MÉTAUX PRÉCIEUX)

I. — OR

A. — *Historique.*

Les anciens voyageurs ne citent l'or que sous une forme vague parmi les produits du sol de Madagascar.

La première donnée précise à cet égard ne date que de 1845. Le Français Jean Laborde, qui, avec tant d'intelligence, organisait diverses industries dans la Grande Ile, ayant trouvé quelques paillettes du métal précieux à Manerinerina, au cours d'une chasse aux bœufs faite dans les régions de l'Ouest en compagnie de la reine Ranavalona I, celle-ci lui donna l'ordre de rejeter dans le torrent sa découverte, lui interdisant d'en parler et de faire des recherches ultérieures, car, ajouta-t-elle, non sans sagesse : « Si les étrangers savaient qu'il y a de l'or ici, le pays ne nous appartiendrait plus. »

Son successeur Radama II, qui chercha à engager son pays dans la voie de la civilisation, rendit plus tard un décret ordonnant que si un indigène ou un étranger découvrait des métaux ou des pierres précieuses, il devrait en avertir le roi qui le récompenserait, mais aurait seul le droit d'exploiter des mines. Une tentative seulement fut faite à l'abri de ce décret, en 1869, par un anglo-australien qui avait trouvé de l'or dans l'Ampasary, affluent de la Betsiboka. Le premier ministre le fit expulser.

En 1881, Ranavalona II alla plus loin et rendit un décret dans lequel se trouvent les passages suivants cités par M. Guillaume Grandidier dans une note [279 *bis*] à laquelle sont empruntés ces détails historiques :

« Quiconque fouillera des mines d'or, d'argent ou de diamants, ou frappera de

la monnaie, subira une condamnation de vingt ans de fers. La fouille des mines d'or, d'argent, de cuivre, de fer, de plomb, de pierres précieuses, de diamants, de charbon de terre, etc., etc., est interdite, tant sur les terres prises à bail que sur celles qui ne le sont pas. Ceux qui contreviendront à cette loi, seront condamnés à vingt ans de fers. »

En 1885, de concert avec le fils du premier ministre, Suberbie demanda une concession ayant pour but avoué d'établir des plantations entre la Mahajamba et la Mahavavy, mais pour objet réel la recherche de l'or qu'il avait reconnu dans les alluvions de cette région. Le gouvernement hova était alors fort embarrassé pour payer les intérêts d'un emprunt consenti par le Comptoir d'Escompte de Paris, aussi décida-t-il d'abandonner les principes draconiens qui viennent d'être énoncés, et de chercher à se procurer des fonds à l'aide de concessions minières. Telle fut l'origine de la vaste concession attribuée à Suberbie qui a eu pour successeur la Compagnie Occidentale de Madagascar, et d'une autre concession attribuée peu après à Talbot dans la région d'Ankavandra. Ces premiers essais n'ayant pas été fructueux, en 1890, le gouvernement hova autorisa les Malgaches à faire eux-mêmes des prospections, mais il y mit des conditions tellement onéreuses, que nul ne put en profiter et la loi ne tarda pas à être rapportée. Les deux concessionnaires européens continuèrent donc seuls leurs travaux, de compte à demi avec le gouvernement malgache qui recrutait la main-d'œuvre à l'aide de la corvée, ce qui ne tarda pas à entraîner tous les abus que l'on devine.

Cet état de choses dura jusqu'au début de la conquête en 1895. Les travaux furent interrompus pendant celle-ci. Mais ils ne tardèrent pas à être repris par une foule de nouveaux prospecteurs ; aussi en juillet 1896, sur le rapport du Ministre des Colonies, le Président de la République signa-t-il un décret réglementant les recherches et l'exploitation des mines d'or et de métaux précieux à Madagascar ; ce décret fut promulgué peu après à Tananarive par Ranavalomanjaka III.

L'ère des prospections était ouverte et, cette même année 1896, quelques kilogrammes d'or figurèrent dans la première statistique officielle du Service des mines créé à Tananarive[1].

1. Il n'entre pas dans le but de cet ouvrage de suivre les multiples vicissitudes des prospections, des exploitations ni de la législation minière depuis cette époque. Voir pour ce sujet : 1° Levat [245] ; — 2° Chambre des mines de Madagascar. *Annuaire 1918*, Tananarive, in-4 (1 à 245 p.) ; — 3° A. Petré, *Vade-mecum à l'usage des prospecteurs de Madagascar. Réglementation minière*. Tananarive, 1920, in-8 (1-187 p.).

Les divers types de gisements aurifères.

Les gisements aurifères de Madagascar présentent des particularités remarquables qui méritent une étude détaillée. Le but que je me propose dans cet ouvrage étant d'établir les caractéristiques générales de la Minéralogie de l'île, plutôt que d'entrer dans de minutieux détails, on ne trouvera dans les pages qui suivent aucune description particulière de mine[1].

Les *gisements en place*, qui sont les plus intéressants au point de vue scientifique, doivent être divisés en deux groupes.

Le premier comprend des gisements distribués dans toute l'étendue du Massif ancien ; ils se trouvent dans les schistes cristallins eux-mêmes et dans des lits quartzeux interstratifiés ; je les considère comme contemporains de leur métamorphisme. Ils ne sont pas de nature filonienne, ils fournissent de l'or à haut titre.

Le second, au contraire, localisé à la frontière des schistes cristallins du Nord et des terrains sédimentaires, consiste en véritables filons présentant des particularités tout à fait spéciales. L'or y est toujours très argentifère (*électrum*). Il semble que ce soient là les seuls *filons* aurifères de la Colonie, les filons quartzeux coupant les couches des schistes cristallins de toute l'île étant stériles au point de vue de l'or.

Plus nombreux, et jusqu'ici plus importants au point de vue économique, sont les gisements remaniés, *éluvionnaires* ou *alluvionnaires* qui s'observent, non seulement au voisinage de tous les gîtes en place, mais encore dans un grand nombre de régions, où ceux-ci n'ont pas encore été trouvés ou tout au moins n'ont pas encore été cherchés[2].

Avant d'aborder l'étude des particularités caractéristiques de chacun de ces types de gisement, je passerai rapidement en revue la distribution géographique des points où l'or a été reconnu ou exploité ; ils sont disséminés surtout, mais non pas exclusivement, dans toute l'étendue du Massif cristallin. Pour la commodité de cet exposé, je diviserai celui-ci en quatre grandes zones qui, pour l'Est, sont celles distinguées par les prospecteurs et dans chacune d'entre elles j'énumérerai les gisements en allant du Nord au Sud.

1. A ce point de vue spécial, on peut consulter les numéros 221 à 249 de la bibliographie et plus particulièrement les travaux de M. Merle [224] et de Levat [223].
2. C'est aussi le cas pour un petit nombre de gisements où le *platine* est associé à l'or.

Je ne puis songer à donner la liste complète de tous les cours d'eau où l'or a été trouvé ; le métal précieux existe à peu près dans tous ceux du Massif ; je ne me suis attaché qu'à indiquer les principaux d'entre eux.

Je m'occuperai ensuite des gisements, peu importants au point de vue pratique, qui se trouvent dans la région sédimentaire et qui, tous, sont alluvionnaires.

B. — *Distribution géographique.*

a. — Massif cristallin.

α. **Zone du Nord.** — Ces gisements, que l'on désigne généralement sous la dénomination d'Andavakoera, empruntée à l'un des gîtes principaux, se trouvent au Sud de Diego-Suarez. Ce sont eux qui sont de nature filonienne. Ils sont localisés dans les collines de gneiss ou de Trias en contact avec les gneiss, orientées Nord-Est, parallèlement à la chaîne gréseuse plus élevée d'Andavakoera, dont elles sont séparées par une plaine marécageuse (creusée dans des sédiments de même âge), qu'irrigue l'Ambavazoro, affluent de la Mananjeby. Ces filons se rencontrent tout d'abord à Betankilotra, au pied du col d'Ambararata et se poursuivent, productifs, sur près de 15 kilomètres dans la direction du Sud-Ouest jusqu'à Ranomafana. Ils font d'ailleurs partie d'un système filonien qui se prolonge du côté Nord-Est et du côté Sud-Ouest ; dans cette dernière direction, ils sont particulièrement nombreux entre Ambakirano et Ambatobe, puis dans les environs de Bobasatrana, près du confluent de l'Antsiasia et de la Mahavavy ; certains de ces filons renferment de la galène et d'autres sulfures.

Les schistes cristallins de cette région sont eux-mêmes un peu aurifères (Andavakoera, Mangily, etc.), comme la plupart de ceux du reste de l'île et, ici comme là, ce sont eux qui sont la source principale de l'or roulé par les rivières.

Dans le bassin de réception de la haute Mananjeby, en amont de Belomotra, il existe des alluvions pauvres (Belomotra, Tsiketraka), mais, en aval de cette localité, là où le fleuve rétréci possède un lit rocailleux presque entièrement déblayé par les grandes crues, se trouvent des points d'enrichissement, surtout au débouché des couloirs étroits des cours d'eau (notamment entre Belomotra et Sakazera)[1] ; l'or provient de la destruction des schistes cristallins.

1. Il existe dans la région cristallophyllienne, au Sud de la ligne Ankitokazo-Andavakoera [notamment au Nord et au Sud de Sakazera, puis dans le massif de l'Antseva (vallée de la Mananjeby), etc.] des filons quartzo-barytiques dont le quartz est moins régulièrement cristallisé qu'à Andavakoera et qui, jusqu'ici, se sont montrés stériles au point de vue de l'or.

Des observations analogues peuvent être faites au sujet du cours de la Mahavavy, dans laquelle des recherches ont été effectuées, à Betankilotra et à Mokave en particulier.

β. **Zone de l'Ouest.** — Cette zone suit la lisière des schistes cristallins du Massif ancien et des formations sédimentaires, son altitude oscille entre 1 000 et 100 mètres ; elle comprend en particulier des gisements situés en contre-bas de la falaise limitant du côté de l'Ouest le Massif ancien, falaise moins facile à préciser que celle de l'Est.

Région du Nord-Ouest. — Toute une série de gisements alluvionnaires ont été prospectés dans les hauts affluents du Bemarivo, notamment dans le Marovato et le Manompy, au Nord d'Antsevakely ; à citer aussi le bassin du Kamoro.

Depuis la Sofia, à Maroala, jusqu'au Kimangoro, affluent de droite de l'ancienne Mahajamba[1], toutes les rivières sont aurifères ; elles ont été récemment prospectées au voisinage de la région sédimentaire. M. Serbos m'a montré de jolies pépites, non roulées, recueillies dans la terre rouge près de veines quartzeuses, au confluent du Kimangoro et de la Mahajamba et aussi dans la rivière Bebozaka, tributaire du Kimangoro.

Nombreux aussi sont les gisements éluvionnaires et alluvionnaires dans les moyennes vallées de la Mahajamba (région de Tsaratanana : Andilamavo, Antsira (grosses pépites), Marofototra, Ampitalina et de ses affluents de gauche (Androfia, Mahabe, Ampasiria, Ambolomborona) et de droite (Antevatapaka, Tsilaninarivo, Antsely, Soarano, Betanantanana, Besakarivo, Ambatobe, Andakana).

Région de Maevatanana. — Les gisements originels ayant fourni l'or des alluvions se trouvent dans les gneiss, plus souvent dans des lentilles quartzeuses[2] intercalées dans ceux-ci et surtout dans des bancs discontinus de quartzites à magnétite ; ceux-ci sont en moyenne assez pauvres, mais leur grand développement permet d'expliquer l'abondance de l'or dans les alluvions.

Il faut signaler dans le bassin de la Betsiboka : la Morataitra, affluent de la Boinakely, Tainangidina (lentilles quartzeuses dans gneiss), entre le fleuve et son affluent de gauche la Randriantsana, puis, en amont, la région d'Andriamena : Mahabe, Ampasiria (pépites).

Tous les autres gisements sont situés dans le bassin de l'Ikopa et de ses affluents : les principaux sont les suivants : aux environs de Maevatanana, Ranomangatsiaka [veinules de quartz blanc intercalées entre les quartzites à magnétite (toit) et les gneiss (mur)] ; Nandrojia (lentilles quartzeuses discontinues), Ramparany (quartzites à magnétite) ; alluvions de l'Ikopa ; Ranomandry (lentilles quartzeuses et

1. Aujourd'hui capturée par le Kamoro.
2. Les schistes cristallins de cette région sont traversés par un grand nombre de filons de quartz, quelquefois feldspathiques, qui, eux, ne sont pas aurifères.

quartzites à magnétite), Ampasiry (quartzites à magnétite, notamment à Antanimena) ; Firingalava (quartzites à magnétite et alluvions) ; la Mandraty, notamment à Betaimby (gneiss et quartzites à magnétite, pegmatites, argiles latéritiques particulièrement riches) ; Morafeno (vallée de la Mahazoma, entre la Menavava et la Joinavo) ; la Zomavo, la Marotolana, la Besafotra, dont l'or alluvionnaire provient des quartzites à magnétite ; enfin, la Belambo (alluvions aurifères et gemmifères, situées à 60 mètres au-dessus du niveau de l'Ikopa), ainsi que les gisements d'un autre affluent de droite de la Menavava, l'Analatelo, situé au Sud-Est de Kandreo. Dans les gisements en place de cette région, sauf à Ampasiry, où des recherches ont été faites sur un gneiss pyriteux aurifère, l'or n'est pas accompagné de pyrite ; il est vrai que les travaux d'exploration sont jusqu'ici restés au-dessus du niveau hydrostatique, à l'exception de Ranomangatsiaka, où la veine aurifère a été suivie sur 40 mètres de profondeur dont 20 au-dessous du niveau d'eau ; on n'y a pas trouvé de pyrite.

On peut rattacher à cette région les alluvions du haut cours de la Mahetsamena et de son affluent la Marijao (petites pépites).

Beaucoup plus au Sud, dans la région d'Ankavandra (à 3 heures à l'Est), des veines quartzeuses se trouvent dans les micaschistes et les schistes amphiboliques de Rafiatokana, eux-mêmes aurifères. Des alluvions ont été exploitées dans de nombreuses rivières, notamment dans la Bekopaka, affluent de l'Ankafotra.

Betsiriry. — Les gisements de cette région sont compris entre le Mahajilo et la Mania, en amont du point où ces deux rivières se réunissent pour constituer le fleuve Tsiribihina (Voir la carte de la page 11).

Quelques-uns d'entre eux se trouvent dans la région de Manandaza, sur le bord du Bongolava. Plus nombreuses sont les exploitations de la région de Miandrivazo. A 25 kilomètres Nord-Nord-Est, Ampitambe, puis à l'Est, et au Sud-Est, nombreux gisements plus ou moins rapprochés de la route conduisant à Betafo. Ce sont tout d'abord des alluvions provenant de la démolition des veinules quartzeuses intercalées dans les gneiss et qui sont de plus en plus exploitées en place : à leur contact, les gneiss sont souvent eux-mêmes aurifères. A citer en particulier Antsaily et les rivières Ambararatakely, Kiranomena et à l'Ouest de cette dernière, les gisements d'Andimaka, d'Analabe sur la Dabolava, d'Ankotrofotsy, du mont Takodara et, encore plus à l'Est, celui d'Ankarongana.

Au Sud du Betsiriry, des gisements alluvionnaires ont été prospectés à Kalapato et dans l'Ilohao (région de Malaimbandy) et aussi près de Janjina.

γ. **Zone de l'Est.** — Cette zone est parallèle à la côte orientale de l'île ; elle s'étend entre l'Océan Indien et le pied de la grande falaise, à laquelle se terminent

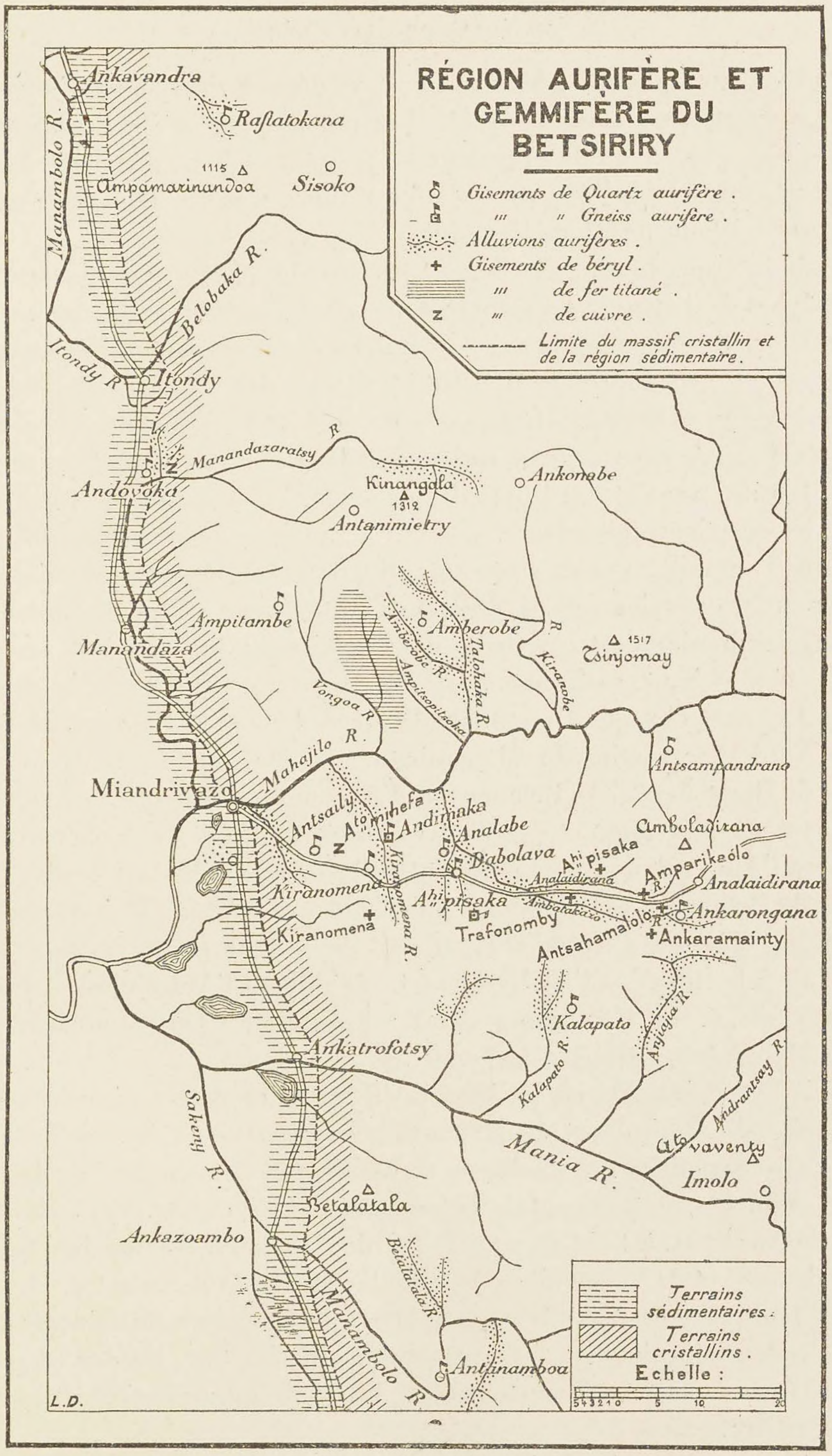

RÉGION AURIFÈRE ET GEMMIFÈRE DU BETSIRIRY
Gisements de Quartz aurifère.
" " Gneiss aurifère.
Alluvions aurifères.
Gisements de béryl.
" de fer titané.
" de cuivre.
Limite du massif cristallin et de la région sédimentaire.
Terrains sédimentaires.
Terrains cristallins.
Echelle :
Ankavandra
Raflatokana
Manambolo R.
Ampamarinandoa
Sisoko
Belobaka R.
Itondy R.
Itondy
Manandazaratsy R.
Andovoka
Kinangala
Ankonabe
Antanimietry
Ampitambe
Amberobe
Tsinjomay
Manandaza
Miandrivazo
Mahajilo R.
Antsampandrano
Ambolodirana
Analabe
Dabolava
Ankarongana
Ankaramainty
Trafonomby
Kiranomena
Antsahamalolo
Kalapato
Ankatrofotsy
Mania R.
Imolo
Sakeny R.
Betalatala
Ankazoambo
Antanambao
L.D.

Fig. 1.

les Hauts Plateaux, son altitude maximum ne dépasse guère 800 mètres ; elle est en partie couverte par la grande forêt. Les prospecteurs y établissent deux divisions, limitées par ce qu'ils appellent la première et la deuxième falaise. La première est celle à laquelle je viens de faire allusion, la seconde, moins élevée, se trouve à une centaine de kilomètres plus à l'Est.

La bande interne, la plus élevée, est particulièrement micaschisteuse, elle est riche en dykes de diabases ; on y connaît des gîtes quartzeux en place, peu érodés, dans lesquels se trouve surtout l'or, alors que les alluvions sont en général pauvres : elle finit vers le Nord, près de Maroantsetra. Par contre, dans la bande littorale, encore gneissique et micaschisteuse, ce sont surtout les alluvions qui renferment l'or ; les cailloux de quartz blanc qui y abondent sont en général stériles ; cette bande se termine vers le Nord près de Vohémar. Voici, passés en revue du Nord au Sud, les principaux gisements.

Nord de Tamatave. — Des gisements alluvionnaires sont connus au Nord de la baie d'Antongil dans les vallées de la Loky et de ses affluents (notamment à Ampanihy, veine de quartz pyriteux dans schistes) ; le gisement en place de Mangily cité plus haut, se trouve au Sud d'Andavakoera, dans le haut bassin de la Loky. Ce sont eux qui constituent le raccordement de la zone de l'Est avec celle du Nord. Les bassins du Manambato, du Manambery (en particulier les affluents du haut fleuve, la Belanevoka, l'Antsampanela (lentilles de quartz dans micaschistes et alluvions) et des fleuves situés au Sud de Vohémar ; à citer notamment l'Ampotalana (et son affluent la Beambatry) et l'Androranga, affluents de droite du Bemarivo, et le Lokoho, puis l'Ankavia [et son affluent l'Ankavanana (placer Longozabe sur l'Antrakabe, affluent de l'Ankavanana, au Nord d'Andranovolo et le Sahaefitra)] et l'Andrarona (et son affluent l'Antsahivo) au Sud-Ouest d'Antalaha (placer du Marambo au Sud) ; le bassin de l'Antaimbalala au Nord-Ouest de Maroantsetra (Baie d'Antongil).

Vis-à-vis l'île Sainte-Marie, les bassins du Soanierana (placer d'Antara dans la grande forêt), du Marimbo et du Manantsatrana. Dans la région de Fénérive, des alluvions sont exploitées dans le bassin du Maningory (descendant du lac Alaotra) et de ses affluents, notamment à Antanambao, Antsiatsiaka, Ambodisatrana, à l'Ouest, au Nord-Est, à l'Est et au Sud-Est de Sahatavy. Les bassins de l'Onibe, S. de Mahanoro et de Vavatenina, de l'Ifontsy et de l'Ivoloina (et de son affluent de droite l'Ivolovoloina). Les alluvions du Manantsatrana et de ses affluents de droite, ainsi que celles de la Sasalaza renferment, en outre de l'or, un peu de platine.

Ces gisements se trouvent surtout dans la bande interne, c'est-à-dire dans la région forestière.

Sud de Tamatave. — La région s'étendant à l'Ouest de la côte, entre Tamatave

et Andovoranto, notamment le bassin de l'Iaroka-Rianila et de son affluent la Vohitra (et de ses affluents, la Sahanavo et l'Iampanga ; les rivières Farimbony, Ambatoniana (région de Belanitra, Ampasimbe, à l'Est de Beforona), Beanandrambo, région de Gri-Gri ; Maroseranana au Nord d'Anivorano (grosses pépites), Sahabe, Ifilo. Il s'y trouve quelques gisements en place dans les gneiss (mine d'Anasaha).

Le bassin des fleuves Sakanila, Manampotsy, Manindry, Ihosy, Lohariana au Nord et au Nord-Ouest de Mahanoro, la Farafara, affluent de droite du Manampotsy, renferment des alluvions aurifères contenant un peu de platine.

Le bassin inférieur du Mangoro (au Sud du parallèle d'Anosibe) et de ses affluents de droite [Onive (dans la bande littorale, placer d'Andasibe), Nosivolo et son affluent le Sandranomby (région de Marolambo)] ; un gisement en place remarquable se trouve dans le gneiss amphibolique de la Sahofa, affluent de la Sahadinta, elle-même tributaire du haut Nosivolo,

M. Rouaix m'a signalé l'existence de platine dans les alluvions aurirères pauvres d'un affluent du Sahave à 10 kilomètres environ au Sud de Menagisy.

Au Sud de Mahanoro, il faut citer en particulier le placer d'Ambodimanga, sur la Sahalalangy, affluent du Lohotra ; le bassin du Masora et de son affluent la Sahantsio et de son cours supérieur, du Vatovandana, renfermant les gisements en place du Beando et de son affluent de gauche, la Sandrakara (veines de quartz dans le quartz à Bebasy). Des alluvions aurifères d'une grande richesse ont rendu célèbres le Sakaleona et ses affluents l'Andranomanjaka et la Sahavato : des gisements en place se trouvent sur la Sahavato et à Vohitsara sur le Sakaleona.

Le Fanantara et ses affluents : la Maroantova (et son affluent l'Idrambo), l'Ambatoharana, la Sahandrambo (alluvions de Fotobato et d'Ambodihalampona, Anjavidy), de Vohilonjokely et la Sahampaka. Des gisements en place sont à signaler à Maroantova et à Ambodimanga-Sahampaka.

Un grand nombre d'exploitations ont été fructueusement exploitées dans la bande littorale du bas Mananjary et de ses affluents : la Maha, la Saka (et son affluent l'Ambakoana), l'Ampoasary (placer d'Andrangavola, etc., et plus à l'Est Kiravoravo) (et son affluent la Sahaninga), la Sahanofa ; Morafeno sur la Befarantsa, entre la Sahandrambo et la Maha (pépites). Des gisements en place se trouvent dans le gneiss à Morafeno, Anjaridaina, Maha, Ambakoana, Saka. A citer le placer d'Anjorozoro, au Sud d'Ambohimanga, du Sud.

Le Fompona, le Namorona et son affluent la Marotokana (et son tributaire la Katsaoka) ; le Faraony et son affluent de gauche la Tanjonga (et son affluent l'Ankeba) ; Amboanjobe, dans la région d'Antsenavolo.

Le bassin de la Matitanana et de ses affluents la Rienana et la Sandrananta (au Nord-Ouest de Vohipeno).

Ouest et Sud de Farafangana. — Des gisements, tous alluvionnaires, sont peu nombreux dans cette région méridionale ; je dois signaler cependant les suivants : le moyen Manampatra et le haut cours de son affluent de gauche, la Manambavana ; le bassin de la Mananara (placer de Fandrangato, etc.) et de son affluent la Manambia : un peu de platine accompagne l'or dans l'Isonjo, affluent de cette dernière rivière ; enfin, la région du Manambondro, au Sud-Ouest de Vangaindrano.

δ. **Zone des Hauts Plateaux.** — Cette zone commence au Nord de Tananarive et se prolonge jusque dans la région d'Ihosy. Elle est limitée du côté de l'Est par le bord de la grande falaise ; elle se continue à l'Ouest par la deuxième zone signalée plus haut (zone de l'Ouest), qui borde les terrains sédimentaires.

Nord du parallèle de Tananarive. — Des latérites gneissiques en place et des alluvions ont été exploitées au Nord-Est d'Ankazobe (Monts Ambohimena, près de Dimanjato et de Maharidaza). On peut rapporter aussi à cette zone quelques gisements du haut cours de l'Ikopa.

Entre les parallèles de Tananarive et d'Ambositra. — Dans la région de l'Imamo-Mandridrano, dans les bassins de l'Irihitra, du haut Onibe et de l'Ombifotsy (affluents ou sous-affluents de l'Ikopa), du haut Mazy (région de Miarinarivo), de la Varana (tributaire du lac Itasy), du haut Kitsamby et de ses affluents (la Sakay, etc.), à l'Ouest et au Sud-Ouest de Ramainandro, Miandrarivo, Inanatonana, sur plus de 100 kilomètres, des alluvions aurifères sont reconnues ou exploitées en de nombreux points.

Des gîtes en place se trouvent aussi dans les gneiss, notamment à Antsolabato, Vohinambo, Antanifotsy au Sud d'Arivonimamo ; à Ambarinomby près Miandrarivo ; à Ampahatra sur le Kitsamby (au Sud d'Ambohitsarabe) dans quartz, avec galène, pyrite, chalcopyrite et pyromorphite, puis au Nord-Ouest du lac Pilina à Amparindravato (amphibolites et lits quartzeux) et à une trentaine de kilomètres plus à l'Est, à Ambohimarina (lits quartzeux), enfin à l'Ouest de la Sakay, à Ankaranana.

Au Nord-Ouest de cette région, dans le Mandridrano, une série de gisements [Tsiroanomandidy, Ambohitsivalana, Ampahamanta, Tsimbolovolo (quartzites à magnétite)], les uns alluvionnaires, les autres en place, sont alignés de l'Est à l'Ouest, au milieu des schistes cristallins ; ils rejoignent les gisements de l'Ouest.

Au Sud-Ouest de Tananarive, il faut citer la région de Fandravazana (bassins de l'Andromba et de la Katsaoka), puis au Sud de la capitale, le haut Sisaony (quartzites à magnétite atteignant par place 10 mètres d'épaisseur et visibles sur plus de 10 kilomètres ; gneiss à teneur faible). La région de Tsinjoarivo, dans le

haut bassin de l'Onive, renferme des alluvions aurifères et aussi des gisements en place dans les gneiss ; pour ces derniers, je citerai Andranofito (Sahabe) (au Sud d'Ambatolampy), Iharana-Ialatsara, Antsofimbato ; pour les éluvions ou les alluvions aurifères : Betanimena (au Nord-Ouest d'Ambatolampy), le Mont Sarobaratra, Befotaka (au Sud de Tsinjoarivo), Antanifotsy sur l'Onive, etc.

Dans la région d'Antsirabe, les principaux gisements, situés à l'Est du méridien de cette ville, se trouvent en place dans les gneiss (Tongarivo, Miadanimerina) ou dans les pegmatites (filon quartzeux de Soavinarivo), avec des gisements alluvionnaires au voisinage (vallée d'Androka, au Sud du plateau de Soavinarivo, et au Sud-Est de ce dernier, la vallée de la Sahatorendrika, etc.). Ceux qui sont connus à l'Ouest de ce méridien, sont compris entre l'Andrantsay et la Mania : ce sont des éluvions et des alluvions (l'Ialamalaza, la Fitamaria, la Behena et l'Ambatomanana, affluents de la Mania, certains affluents de la Sahatany, etc.), ou bien des gisements en place dans les quartzites (Ieninkenina, au Sud de la Manandona) : là encore, des éluvions sont exploitées à leur voisinage.

Sud du parallèle d'Ambositra. — Des gisements alluvionnaires sont ou ont été exploités dans la haute vallée du Mananjary et des affluents (l'Ifempina, affluent de la Sahanofa, etc.) ; et dans les hautes vallées d'affluents de la Matsiatra (gisements en place dans les micaschistes à Itea, région de l'Ivodirandrana-Tsinjovina et de ses affluents, la Fanindrona) (alluvions et lentilles de gneiss dans micaschistes des marais d'Ambatosoa ; qui peuvent être suivies à partir de Valojoro et passent à l'Est d'Ambohimahasoa), la Sahamadio ; Ampanonitra (région d'Ankafina), la Sahabekinana, et la Mananantanana [et son affluent, la Manambovona (gisements en place dans les gneiss à l'Ouest du mont Ifily près Soanatokavana ; Imaina, sur le bord de la Manambovona, à 25 kilomètres Sud-Est d'Ikalamavony, et Anjivy à 15 kilomètres plus à l'Ouest) ; placer d'Ambatofotsiloha sur la Ranomainty, à 35 kilomètres de Fianarantsoa sur la lisière de la forêt de l'Est].

La région d'Ihosy renferme des veines quartzeuses dans les gneiss et les micaschistes, notamment à Voatavolana, à 60 kilomètres d'Ambalavao.

ε. **Extrême-Sud.** — L'Extrême-Sud paraît pauvre en or aussi bien du côté de l'Ouest que du côté de l'Est ou tout au moins à ma connaissance, il n'a guère été prospecté à ce point de vue. Je signalerai seulement les renseignements suivants :

Pays Mahafaly. — A la frontière Nord du pays Mahafaly, les alluvions sont exploitées dans la région du mont Vohibory, lambeau de schistes cristallins entouré de terrains sédimentaires. M. J. Giraud a signalé l'existence de très faibles quantités d'or dans les gneiss basiques de cette région.

b. — Régions sédimentaires [1].

On a vu plus haut que, dans la région d'Andavakoera seulement, des filons aurifères traversent les formations triasiques, en même temps que les schistes cristallins. Je n'y reviendrai pas ici ; je m'occuperai seulement d'une curieuse catégorie d'alluvions aurifères de la région sédimentaire comprise entre la presqu'île d'Ambavatoby et le cap Saint-André, à une distance parfois assez considérable du Massif cristallin, source originelle de l'or. L'âge de ces gisements est indécis ; il est certainement postéocène (M. Perrier de la Bathie) ; ils sont d'ordinaire situés au-dessus du lit des cours d'eau actuels. Comme il convient à de l'or très roulé, le métal précieux s'y rencontre en paillettes très petites, très plates et les galets y sont de faible dimension. Généralement pauvres, certaines de ces alluvions ont pu être exploitées, mais avec un succès médiocre. En voici quelques exemples :

Maroaboaly sur le Bemarivo (Sofia) (sur grès triasique) ; — Berонono, sur les deux rives de la Mahajamba (sur grès crétacés) ; — puis, dans le bassin de la Betsiboka : Madirovalo (sur grès crétacés), Analamandrota, Marovoay (sur grès sénoniens dont les galets supportent des *Ostrea* quaternaires) ; — plateau d'Ankara entre la Betsiboka et l'Ikopa (sur Jurassique et Crétacé) ; — Sitampiky [rive gauche de la Mahavavy de l'Ouest (sur grès)] ; — Majunga (sur sables recouvrant l'éocène) ; — dans l'Ambongo, l'Est de Soalala (sur grès crétacés), Maharivo (sur basaltie), etc.

Il faut noter en outre que les alluvions des régions sédimentaires de l'Ouest bordant le Massif cristallin sont souvent aurifères au voisinage immédiat de celui-ci : tel est le cas de la bordure du Bongolava, à Andovoka entre Manandaza et Itondy (sur grès liasiques).

C. — *Étude des gisements aurifères.*

A Madagascar, le seul minerai aurifère exploité est l'or natif ; jusqu'ici les minerais sulfurés (pyrite, etc.), qui ne sont pas absents, n'ont aucune importance pratique et il en est de même *a fortiori* pour les tellurures ; la sylvanite signalée dans le tome I ne constitue pour l'instant qu'une curiosité minéralogique fort rare.

Au point de vue économique, si l'on excepte les gisements d'Andavakoera, la

1. Au Nord d'Ambohimirahavavy (sur le versant Nord-Ouest du massif de Tsaramborona), M. Rouaix a trouvé des traces d'or dans les grès liasiques formés aux dépens des gneiss du massif de la haute Loky et de la haute Manankolala.

plus grande partie de la production aurifère de la Colonie est fournie par des éluvions et surtout par des alluvions ; sur celles-ci, il n'y aura pas lieu d'insister longuement, car elles ne présentent pas de particularités spéciales à la Grande Ile. Au point de vue théorique, ce sont les gisements en place, nombreux et variés, qui offrent surtout de l'intérêt ; il importe d'ailleurs de les connaître en détail, car je ne doute pas que, tôt ou tard, l'on ne soit conduit à les exploiter plus activement qu'on ne le fait actuellement.

a. — Gisements en place.

α. **Gites dans les schistes cristallins et les pegmatites.** — En 1900, j'ai décrit [240-241] le premier cas d'or observé à Madagascar dans des schistes cristallins. Il s'agissait de deux échantillons remarquables, l'un est un quartzite à magnétite, l'autre un gneiss à biotite, tous deux renferment une grande quantité d'or visible à l'œil nu. Par leur examen microscopique, j'ai pu montrer que le métal précieux y est un élément normal, au même titre que tous les autres minéraux. Rapprochant ce fait de l'observation que m'avaient communiquée plusieurs prospecteurs, à savoir que le lavage de beaucoup d'argiles latéritiques dérivant de schistes cristallins en place fournit presque toujours au moins des traces d'or, j'ai émis cette hypothèse, que, à Madagascar l'or existe essentiellement à l'état d'élément des schistes cristallins, qu'il est un des résultats du métamorphisme, ayant donné à ces roches leur forme actuelle et enfin que son origine primaire doit être cherchée dans le magma granitique, les veines quartzeuses aurifères de la Grande Ile n'étant probablement elles-mêmes qu'une production de ce même magma, à comparer aux pegmatites[1].

Les nombreux travaux de recherches faits depuis vingt ans ont apporté une confirmation éclatante à ces vues théoriques. Si l'on excepte les gisements nettement filoniens de la région de l'Andavakoera qui, à tous égards, se distinguent de tous les autres gisements, il semble que l'on puisse ranger ces derniers dans deux groupes étroitement connexes, celui dans lequel l'or est distribué dans les roches les plus diverses, gneiss, micaschistes, quartzites, calcaires cristallins même, et plus rarement dans des pegmatites et celui qui consiste en veines quartzeuses, *interstratifiées* dans les schistes cristallins et vraisemblablement contemporaines de leur métamorphisme.

La liaison génétique de ces veines quartzeuses avec le magma granitique est

1. A ce propos, je rappellerai l'existence de lames d'or natif, associées à des cristaux de quartz et d'apatite, dans les fentes des micaschistes feldspathisés de Nantes, où ces minéraux sont en relation avec des filons d'aplite (*Minér. France*, t. II, 1896, p. 419).

mise en évidence par la présence, au milieu du quartz, de nombreux minéraux accessoires, qui sont soit ceux des gneiss encaissants (feldspaths par exemple), soit d'autres, caractéristiques des pegmatites (tourmaline, muscovite).

Dans toutes les catégories de gisement dont il vient d'être question, à côté de l'or et des sulfures d'origine primaire, contemporains des silicates qu'ils enveloppent ou qu'ils renferment, il existe aussi de l'or et de la pyrite d'origine secondaire, transportés par des solutions dans toutes les diaclases.

Enfin, il est fréquent de constater que sur les bords de ces veines quartzeuses, la roche encaissante est elle-même plus ou moins aurifère, avec souvent de l'or visible.

Le type aurifère dont il est question ici est comparable à celui de certains gisements du continent africain, à ceux de la Rhodesia (Pays Matabele), des Pays Mashona et Manika, à ceux de l'Assam, aux Indes, des bassins de l'Iénissei et de la Léna, en Sibérie. Ces gisements africains et asiatiques constituent la *province aurifère érythréenne* de M. J. Malcolm Maclaren[1] qui compare celle-ci à sa province des Appalaches : à elles deux, elles englobent la plus grande partie des gisements aurifères archéens connus. Ce groupement se retrouve dans la classification de M. L. de Launay[2] ; il forme ses *imprégnations diffuses de profondeur*.

Malgré ces analogies incontestables, la Grande Ile me semble avoir son originalité propre dans cette division ; tandis que partout ailleurs en effet les veines quartzeuses aurifères jouent le rôle prédominant, à Madagascar, la dissémination de l'or dans tous les types de schistes cristallins est un fait général. Le lavage à la batée d'une roche fraîche ou des argiles latéritiques résultant de sa décomposition fournit très fréquemment quelques *couleurs* du métal précieux ; aussi suis-je porté à penser que celui-ci existe comme élément presque constant des schistes cristallins de l'île, au même titre que la magnétite, mais seulement en quantité très faible. Ainsi s'expliquerait que, dans ce pays, où les altérations des roches silicatées alumineuses sont si intenses, l'or se trouve presque partout dans les rivières, mais malheureusement en proportion généralement minime.

A côté de ces cas de dissémination à l'état d'extrême dilution, si je puis m'exprimer ainsi, il en existe d'autres dans lesquels l'or est concentré localement et apparaît à l'état macroscopique et, à ce point de vue encore, Madagascar est tout à fait remarquable ; le nombre des gisements analogues qui figurent dans la littérature scientifique sont extrêmement peu nombreux, ils se comptent par unités[3].

1. *Gold. Its geological occurrence and geographical distribution*, London, 1908.
2. *Gîtes minéraux et métallifères*, Paris, 1913, t. III, p. 512.
3. Cf. Francis Church Lincoln. *Certain natural Associations of Gold. Contrib. from the geol. Depart. of Columbia University*, t. XXI, n° 5, 1911.

Il y a lieu de considérer tout d'abord le cas où l'or se trouve dans des roches intactes — c'est le cas le moins fréquent, — puis celui dans lequel les roches englobantes ont subi la transformation en terre rouge qui entraîne, au point de vue de l'or, des particularités méritant d'être mises en relief.

1° Roches intactes.

Or dans les schistes cristallins.

Gneiss. — L'échantillon qui a servi de point de départ à mes études sur ce sujet provient de la Mandraty, il m'avait été remis par M. Suberbie. C'est un gneiss à biotite, très feldspathique, formé de lits alternativement riches ou pauvres en biotite. L'or natif visible à l'œil nu est abondant, surtout dans les zones très feldspathiques; il n'est pas accompagné de pyrite. L'examen microscopique montre l'existence d'une quantité considérable de petits cristaux d'or, parfois distribués dans les divers minéraux suivant des surfaces planes ou courbes à la façon des inclusions liquides du quartz. Cet or est inclus dans tous les minéraux : biotite, oligoclase, orthose et quartz et leur est par suite antérieur. Ce gisement paraît avoir surtout un intérêt minéralogique; dans la même région, l'or de la Morataitra se trouve dans un gneiss analogue qui, jusqu'à présent, n'a été trouvé en place que latéritisé : un autre gisement analogue à citer dans la même région est Ampasiry sur la rive droite de l'Ikopa.

Le gisement d'Antsolabato a été exploité par les Malgaches, qui s'étaient attaqués aux affleurements latéritisés du gneiss, ainsi qu'aux éluvions et aux alluvions qui en proviennent; d'après un rapport de M. Ganet [237], les travaux effectués, il y a quelques années, près du *toby*[1] d'Antanisoa ont mis en évidence à 30 mètres de profondeur le gneiss grenatifère, intact, très dur, renfermant par places beaucoup d'or natif; les échantillons que j'ai examinés ne diffèrent de ceux de la Mandraty qu'en ce que l'or y est accompagné de pyrite, avec parfois un peu de chalcopyrite et de galène. Il semble que la teneur en or soit liée au voisinage d'une bosse de granite, qui coupe trois vallées voisines, car les éluvions et les alluvions de celles-ci ne sont aurifères qu'en aval de cette roche éruptive. L'or visible de ce gisement est toujours assez gros et l'on s'explique l'existence dans les éluvions voisines de petites pépites, peu ou pas roulées, pesant de 2 à 3 grammes; on en aurait trouvé jadis une pesant 25 grammes.

Non loin de là, le gneiss d'Antanifotsy renferme aussi de l'or; dans ce gisement j'ai vu des Malgaches laver la roche latéritisée dans des *laka-tany*.

1. *Toby*, camp des travailleurs.

A Ampahamanta et, aussi, près d'Ankafotra, des recherches ont été faites sur des gneiss à biotite et sillimanite, dans lesquels l'or visible est assez régulièrement distribué et accompagné de beaucoup de pyrite ; ces deux minéraux enveloppent poecilitiquement le feldspath, la biotite, le quartz du gneiss qui est remarquablement frais. Les échantillons que j'ai vus ne montrent pas trace de veinules quartzifères, mais celles-ci existent plus à l'Est au milieu des micaschistes de la rive gauche de la Rafiatokana.

Je dois au Syndicat lyonnais d'intéressants échantillons provenant du Betsiriry (travaux de la Kiranomena et de l'Ankotrofotsy). Ils ont été recueillis au-dessous de la zone d'oxydation ; le gneiss à biotite très frais présente des lits quartzeux interstratifiés. La pyrite est abondamment distribuée dans le gneiss sans or visible, mais au contact du quartz, et sur une épaisseur de 1 à 3 centimètres environ elle disparaît plus ou moins complètement pour être remplacée par de l'or natif qui est beaucoup plus abondant que dans le quartz.

Micaschistes. — Les micaschistes à muscovite d'Itea et de Tsinjovina, sur lesquels des recherches ont été faites, renferment de l'or (visible) irrégulièrement distribué, soit seul, soit associé à de la pyrite ; ce métal existe aussi dans les veinules quartzeuses interstratifiées. Il faut aussi signaler les micaschistes à or visible de la Rafiatokana.

Des gisements analogues doivent exister dans le bassin du Sakaleona, car j'ai étudié un échantillon de micaschiste, recueilli dans les alluvions d'Andrangavola, contenant de l'or visible.

Les quartzites aurifères de Tsimbolovolo, dont il est question plus loin, sont associés à des amphibolites à actinote et à des micaschistes très latéritisés, eux-mêmes aurifères. Un accident minéralogique intéressant consiste en lits presque exclusivement constitués par du disthène[1] parfois imprégné d'or natif ; l'abondance de la limonite, qui colore la roche, indique que celle-ci a renfermé de la pyrite.

Quartzites à magnétite. — L'échantillon de quartzite à magnétite de la Mandraty (probablement de Betaimby), que j'ai étudié en 1900, renferme en abondance de l'or visible qui, au microscope, se montre contemporain de la magnétite : ses plages enveloppent les grains de quartz.

Les quartzites à magnétite forment dans la région de Maevatanana, des lentilles discontinues au milieu des gneiss dont les divers gisements sont énumérés plus loin ; ils sont généralement pauvres en or, mais renferment des poches riches, dans

1. M. Thomas L. Watson a décrit (*Amer. J. of Science*, XXXIII, 241, 1912) un micaschiste en contact avec une pegmatite, de Coosa Creek (Géorgie), dans lequel l'or est intimement associé à de la sillimanite fibreuse ; il existe aussi un peu de pyrite.

lesquelles le métal précieux paraît avoir été concentré par des actions secondaires de transport ; le plus souvent la présence de l'or ne peut être mise en évidence que par un traitement mécanique. Aux environs même de Maevatanana, les quartzites à magnétite sont pyriteux et, par places, deviennent rouges, compacts et ternes ; on trouvera plus loin, dans le chapitre de lithologie, l'explication de cette particularité.

C'est encore dans les quartzites à magnétite (plongeant de 25 à 30° sur l'horizon, vers l'Ouest), que se trouve l'or exploité au Sud-Ouest de Tsimbolovolo ; deux lits riches ont été observés dans un complexe de 15 à 20 mètres d'épaisseur formé par ces quartzites associés à des micaschistes et à la roche à disthène dont il a été question plus haut.

Dans la même région, à Ambohitsivalana, près Tsiroanomandidy, des recherches ont été faites sur des quartzites à magnétite qui, de même que les veinules de quartz interstratifiées au milieu d'eux, sont aurifères [Levat. (223)].

L'existence de l'or dans ces quartzites à magnétite paraît devoir être comparée à celle du métal précieux dans l'itabirite de la province de Miñas Geraes (Itabira, Gongo Socco, Maquiné), mais, à Madagascar, l'or ne contient pas de palladium, comme dans ces gisements brésiliens.

Quartzites à graphite. — Les quartzites à graphite de Fandrangato (vallée de la Mananara) sont aurifères. M. Perrier de la Bathie m'a signalé dans ce gisement des grains d'or enveloppés par des paillettes de graphite.

Quartzites. — Sur le plateau d'Antimenabe (environs d'Ieninkenina), se trouvent, dans des quartzites associés à des schistes micacés et à des calcaires, des imprégnations de pyrite aurifère (cristaux a^1p) ; l'or natif a été trouvé dans des parties oxydées.

Gneiss pyroxéniques et amphiboliques ; amphibolites. — Un des gisements les plus intéressants au point de vue qui nous occupe est celui de la rive droite de la Sahofa, affluent du Haut-Nosivolo, dans la forêt, au Nord-Est d'Ambositra. Un gneiss pyroxénique et amphibolique, un peu micacé, renferme un lit quartzeux de $0^m,10$ à $0^m,05$ d'épaisseur ; celui-ci contient en petite quantité des plagioclases, du pyroxène et de la hornblende en même temps que de la pyrite et de l'or visible. De même que pour le gneiss de Kiranomena, au contact du quartz et sur quelques centimètres, le gneiss renferme en abondance de l'or visible, soit seul, soit plus souvent accompagné de pyrite. Les deux minéraux, sous forme lamellaire, se sont en outre développés, par action secondaire, dans des diaclases du gneiss, perpendiculaires à son rubanement. Quelques travaux ont mis en évidence des lits d'une sorte de pegmatite à pyroxène, elle-même un peu aurifère.

Je dois à M. Mouneyres[1] et à M. Hanning les nombreux échantillons que j'ai étudiés.

J'ai examiné un échantillon intéressant provenant de l'Analatelo, au Sud-Est de Kandreo ; il s'agit d'une amphibolite formée presque exclusivement de hornblende et d'or natif dans laquelle le métal précieux est distribué comme dans le gneiss de la Mandraty.

M. Florens m'a récemment communiqué d'intéressants échantillons d'amphibolite d'Amparindravato renfermant beaucoup plus d'or natif, avec ou sans pyrite, que les lits de quartz qui accompagnent cette roche.

Il faut sans doute rapprocher ces gisements de celui exploité dans le pays du Mashona (Ayrshire Mine), où l'or est inclus dans une roche que M. J. E. Spurr a décrite sous le nom de quartz-diorite-gneiss[2].

Calcaires cristallins et roches silicatées connexes. — Un gisement tout à fait remarquable est celui d'Imaina, au Nord-Ouest de Fianarantsoa. On y a trouvé, au milieu d'un calcaire cristallin à gros grain, de l'or natif visible à l'œil nu. L'examen microscopique montre que la structure de ce dernier est la même que celle du diopside qui l'accompagne au milieu de la calcite et il n'est pas douteux que leur cristallisation ne soit contemporaine. Je ne connais aucun autre exemple d'or dans une telle roche ; dans les cas où l'or a été signalé au milieu de calcite (Nouvelle Galles du Sud, Caroline du Nord, Mexique) il s'agit de gisements filoniens, comme dans le cas décrit page 37.

Par contre, à Ieninkenina, où j'ai observé des grains d'or natif inclus dans la trémolite, il s'agit d'un contact de granite pouvant sans doute être comparé aux gîtes du Banat, où l'or natif est associé à du grenat, de la wollastonite, du diopside, dans des calcaires métamorphisés par une intrusion granitique.

Or dans les veines et veinules de quartz, intercalées dans les schistes cristallins.

Ces veines quartzeuses sont caractérisées par leur discontinuité et par l'irrégularité de leur richesse en métal précieux qui y est souvent associé à de la pyrite.

La notion de leur interstratification dans les schistes cristallins est d'une impor-

1. Lors de la découverte de ce gisement, en 1905, M. Mouneyres, alors chef du Service des Mines, m'a communiqué ces échantillons et je lui en ai envoyé une description minéralogique. Il est probable que cette note manuscrite ou une autre que, sur sa demande, j'avais remise au Ministre des Colonies, a été communiquée à M. Levat, car dans son livre celui-ci cite entre guillemets mon opinion sur ce gisement, bien que je n'aie rien publié sur lui. Ma seule note imprimée sur l'or à Madagascar est celle de 1901 (gneiss et quartzite de la Mandraty).

2. *Engin. and Min. Journ.*, t. LXXVI, 1903, 500.

tance capitale pour la recherche des gîtes exploitables. Par suite du plissement des couches dont les plis sont souvent empilés les uns sur les autres, une même zone quartzeuse doit être poursuivie par des travaux effectués, non pas en direction, mais perpendiculairement à leur direction.

Si l'on excepte le quartz de l'Andrarona (p. 40), il semble qu'à Madagascar, les filons de quartz, *coupant les couches* de la série cristallophyllienne, soient toujours dépourvus d'or.

Le quartz de ces veines interstratifiées est généralement carrié aux affleurements par suite de la disparition de la pyrite, qui a laissé sa trace en colorant les cavités en jaune ou en rouge, alors que çà et là, l'or apparaît à l'état natif, souvent sur l'emplacement même d'un cadavre pyriteux. En profondeur, le quartz est d'un blanc uniforme ou bien d'un gris bleuté, quand il est coloré par de la pyrite finement divisée.

Ces veines de quartz peuvent avoir une épaisseur assez grande (quelques mètres), mais dans ce cas, elles sont le plus souvent stériles ou extrêmement pauvres en or. Cela est parfaitement mis en évidence par l'étude du gisement de Belanitra (mine d'Anasaha), décrit par M. Dégoutin [233], qui m'a donné une collection d'échantillons provenant de cette exploitation. Dans les gneiss, sont intercalés des bancs épais de quartz bleuâtre n'ayant de continuité dans aucune direction ; ce quartz renferme des mouches ou des concentrations plus importantes de sulfures de fer. On distingue parmi ceux-ci de la pyrite de couleur jaune, pouvant avoir jusqu'à 70 à 120 grammes d'or à la tonne et surtout de la marcasite blanche, très friable et très altérable, ne tenant que de 4 à 10 grammes d'or ; il existe aussi un peu de chalcopyrite. Aux affleurements, l'or libre se voit dans des cavités à parois rouillées. Le quartz, quand il est blanc, est pratiquement stérile. Ces veines quartzeuses métallifères sont des cas particuliers des pegmatites très quartzeuses et très kaolinisées de la région ; elles renferment un peu de muscovite et de tourmaline.

Les quelques gîtes, connus en place dans la partie méridionale de la zone de l'Est, sont à rapporter aussi à ce type ; tel est, par exemple, le cas des veinules de quartz en chapelets des micaschistes d'Ambodimanga près Mahanoro ; l'or y est parfois très cristallin ; j'ai même trouvé des cristaux nets dans un échantillon que je dois à M. Magnien ; j'ai vu aussi l'or concentré dans le quartz à son contact avec le micaschiste et intercalé entre les lames de muscovite de celui-ci. A citer encore Tsaramiadana, sur la Saka, et bien d'autres localités.

Dans d'autres gisements et notamment dans la zone des Hauts-Plateaux, on rencontre aussi des lits épais de quartz qui sont à peu près stériles, mais ils sont

accompagnés de fines veinules notablement aurifères. L'or existe aussi fréquemment dans le gneiss encaissant.

Tel est le cas réalisé à Andranofito, à Vohinambo et aux environs de Tsinjoarivo (Ialatsara, Antsofimbato, et Mont Sarobaratra). Il est fréquent de trouver dans le quartz aurifère de l'orthose, de la biotite, de la tourmaline (noire à Andranofito et à Ambohimangandambo, jaune à Vohinambo). Il faut encore rapporter au même type les gisements de l'Est d'Antsirabe, ceux de Tongarivo, de Miadanimerina.

D'autres gisements, plus riches, renferment encore des veinules quartzeuses du même genre, mais celles-ci sont répétées un grand nombre de fois suivant une même verticale ; elles peuvent n'avoir que quelques millimètres d'épaisseur et faire tellement corps avec le gneiss que, dans une même lame mince, on passe sans s'en apercevoir du gneiss à la veine quartzeuse. C'est à ce type qu'appartiennent la plupart des gisements de la zone de l'Ouest au voisinage d'Ankavandra et de Miandrivazo ; là encore, les veines quartzeuses sont parfois feldspathiques. A Antsaily, dans le gneiss riche en bancs ou en filons de pegmatite, les veinules quartzeuses aurifères de quelques centimètres sont pyriteuses et renferment parfois du mispickel ; de l'or visible a été observé dans le gneiss jusqu'à 7 ou 8 centimètres des veines quartzeuses. Non loin de là, dans l'Ambararatakely, des veinules quartzeuses pyriteuses (avec mispickel) se trouvent aussi dans des gneiss imprégnés de pyrite.

A Ampitambe, les veinules quartzeuses sont connues encore dans le gneiss ; elles sont très oxydées aux affleurements et renferment de l'or visible. Les gisements d'Andimaka, ceux du Dabolava (Analabe, Mont Takodara) et d'Ankarongana sont du même genre ; à Ankarongana, les gneiss sont presque horizontaux (M. Dropsy) ; ils sont à peu près verticaux à Dabolava.

On a trouvé depuis longtemps dans les alluvions de la Kiranomena du quartz extrêmement riche en or (un fragment de 50 grammes renfermait 25 grammes du métal précieux) ; son origine était inconnue, mais des travaux tout récents (Kiranomena, Ankotrofotsy) mettent sur la voie de son gisement ; il s'agit des gneiss, dont il a été question p. 20. J'ai examiné des échantillons ne renfermant que peu d'or visible dans le quartz quand on le compare à la partie du gneiss située à son contact ; dans le quartz, l'or forme des cristaux globuleux riches en faces, mais impossibles à isoler intacts. Ce quartz est gris et translucide ; il contient du feldspath ; aux affleurements, il est trouble et rouillé.

Les prétendus filons de la région de Maevatanana (Ranomangatsiaka, Nandrojia, Ramparany) ne sont que des lentilles quartzeuses discontinues du même genre ; on a vu plus haut qu'il en est de même dans un grand nombre d'autres gisements aurifères des bassins de l'Ikopa et de la Betsiboka.

Dans le Valalabetokana, à Amparindravato, le quartz forme, dans le gneiss et dans des amphibolites à or visible, des veines lenticulaires; il en est de même à Ambohimarina, où l'exploitant, M. Florens, les compare à une corde à nœuds. Elles renferment de la pyrite, de la galène, de la pyromorphite orangée. L'association de l'or et de la pyromorphite est tout à fait exceptionnelle; dans son étude des associations de l'or, F.-C. Lincoln déclare ne l'avoir observée qu'une seule fois, mais il n'indique pas où.

C'est au même type encore qu'il faut rapporter les gisements aurifères en place de la région de Tsaratanana; à Ampanitovola, l'or est accompagné de galène à grands clivages.

Enfin, le même genre de quartz se rencontre à l'extrême lisière Nord des Hauts plateaux (Mangily, Antanantanana dans la vallée de la Loky).

Veines quartzeuses cuprifères. — Les veines quartzeuses dont il est question ici sont une variété des précédentes; elles s'en distinguent en ce qu'elles renferment, associés à l'or et souvent en quantité notable, des minéraux cuprifères.

A une cinquantaine de kilomètres au Nord-Ouest de Fianarantsoa, dans la région d'Imaina et d'Ikalamavony, se trouvent, dans les gneiss micaschisteux, des veinules interstratifiées de quartz qui contiennent de la pyrite, de la chalcopyrite, de la chalcosite accompagnant l'or, surtout apparent lorsque les sulfures, oxydés aux affleurements, sont transformés en limonite caverneuse (parfois associée à un peu de malachite). L'or visible de ce gisement forme parfois de petits cristaux globuleux fort nets. L'or se trouve aussi dans le gneiss fréquemment teinté de vert par la malachite au voisinage de ces veinules de quartz.

D'autres gisements analogues existent à Voatavolana, dans la région d'Ihosy. Là encore, les veinules quartzeuses contenant de la chalcopyrite sont intercalées dans des gneiss et des micaschistes amphiboliques, renfermant localement de l'or natif visible; les diaclases de ces roches contiennent aussi parfois de l'or d'origine secondaire,

L'un des échantillons quartzeux que m'a communiqués M. Gaugé contient de gros cristaux de magnétite et une lame d'or enveloppée dans de la *sylvanite*; c'est, jusqu'à présent, le seul cas que je connaisse de l'existence d'un tellurure à Madagascar.

Enfin je signalerai dans les gneiss de Beando, près Nosy Varika, des lits de quartz blanc montrant l'association de l'or natif à de la chalcosite en voie de transformation en covellite : sur les bords des lits, le quartz est carié par suite de la disparition de sulfures et l'or apparaît, plus abondant, dans les cavités produites par leur destruction.

Or dans les pegmatites.

Bien que l'on doive considérer tous les gisements aurifères qui viennent d'être décrits comme étant en relation, plus ou moins directe, avec le magma granitique, il est extrêmement rare de trouver à Madagascar, au moins à l'état visible, de l'or dans les roches granitiques elles-mêmes; je ne connais que les cas suivants.

M. Guignabert m'a communiqué un échantillon de pegmatite rose de Betaimby, sur la Mandraty, riche en grands cristaux d'hématite, qui renferme des mouches d'or visible à l'œil nu, souvent associées d'une façon intime à l'oxyde de fer.

J'ai vu de l'or natif dans une pegmatite provenant du Nord d'Ikalamavony, mais son origine primaire me paraît moins certaine que dans le cas précédent. Enfin, M. Lebuy m'a signalé l'existence de l'or visible dans une pegmatite d'Iampanga, mais je n'ai pas eu entre les mains d'échantillon provenant de cette localité.

Je dois à M. Besson un petit échantillon d'une veinule de pegmatite injectée dans le gneiss d'Antsolabato; elle renferme de l'or visible qui, par places, est moulé sur une pyrite très blanche.

Peut-être faut-il considérer comme une dérivation de pegmatites le filon quartzeux aurifère de Soavinarivo. Il se trouve dans une région de gneiss (renfermant des intercalations de pyroxénite) : ceux-ci constituent son toit, alors que son mur consiste en un dyke de pegmatite; sa liaison avec cette roche est rendue probable parce qu'il renferme çà et là, à son voisinage, quelques-uns des minéraux caractéristiques de celle-ci et particulièrement du feldspath. L'or existe à l'état natif dans le quartz; il est associé à des mouches de cuivre natif, à fort peu de pyrite et de mispickel (M. Bourdariat). La pegmatite est elle-même aurifère (or invisible), près du filon de quartz, alors que le gneiss ne l'est pas. Lors de ma visite à Soavinarivo, les travaux étaient inondés et ce que j'ai vu aux affleurements n'est pas démonstratif, mais j'ai peine à croire à l'indépendance de ce filon de quartz et de la pegmatite.

Les gisements d'or dans les roches granitiques sont peu nombreux; dans les quinze cas énumérés par M. C.-F. Lincoln[1], il n'en est que deux dans lesquels l'or soit visible, ce sont ceux de Sonora au Mexique et d'Armagosa, en Californie, décrits par M. W.-P. Blake[2].

1. *Op. cit.*, pp. 252-253.
2. *Trans. amer. Instit. Min. Eng.*, t. XXVI, 1897, p. 292.

2° Roches latéritisées.

Les divers types de gisements qui viennent d'être passés en revue ont un grand intérêt théorique, car ils sont la démonstration tangible de l'extrême dissémination de l'or à Madagascar dans les schistes cristallins les plus divers, mais si l'on excepte les lits quartzeux, un petit nombre de ces gisements seulement sont ou ont été exploités dans la roche fraîche. Beaucoup des recherches se trouvent dans les roches transformées en argile latéritique et cette transformation entraîne, au point de vue de la richesse et de la distribution du métal précieux, des particularités qu'il importe de mettre en lumière.

On verra plus loin dans le chapitre consacré à la latérite et aux produits d'altération connexes, que la coupe d'un gisement gneissique en voie de latéritisation montre, au-dessus de la roche fraîche, une zone dans laquelle tous les détails de la structure initiale ont été conservés, bien qu'aucun élément, autre que le quartz, ne soit intact. Quand on part de cette couche pour aller vers la surface, on voit progressivement disparaître toute trace de cette structure initiale, les veines de quartz interstratifiées subissent des déplacements, s'incurvent, si elles étaient primitivement verticales, puis se disloquent et finissent par se transformer en lits de fragments anguleux, plus ou moins parallèles à la surface extérieure de l'affleurement; ces fragments sont englobés dans l'argile rougeâtre.

Du fait de la disparition des matières dissoutes, il résulte une diminution de volume augmentée par ce fait que les phénomènes de ruissellement entraînent les matériaux légers. Il se produit donc à la surface des affleurements, une première concentration, *in situ,* d'ordre mécanique, de l'or contenu dans les roches altérées; on voit d'ailleurs les autres minéraux lourds se concentrer de la même façon. L'or étant très tenu, mais très lourd, peut cheminer de haut en bas dans la zone d'altération, mais il est très vraisemblable qu'il se produit surtout une concentration d'ordre chimique, phénomène lent de dissolution et de précipitation qui permet à l'or, distribué en très faible quantité dans l'argile latéritique, de venir se concentrer dans des points privilégiés.

Les observations de M. Bernet [228] faites dans la région de Maevatanana [1] tendent à montrer que des concentrations de ce genre se produisent souvent au contact des

1. M. Perrier de la Bathie, qui a beaucoup prospecté dans la région de Maevatanana, m'a signalé que ces concentrations secondaires d'or sont surtout fréquentes là où il existe des quartzites à magnétite dont la porosité est particulièrement grande. Cette concentration est généralement très irrégulière, aussi l'exploitation exige-t-elle le traitement d'un cube énorme de matériaux stériles, au milieu desquels sont en quelque sorte noyés de petits points d'enrichissement. L'examen d'anciens travaux malgaches, ayant fourni une quantité connue d'or, montre que les matériaux traités renfermaient parfois moins de $0^{gr},15$ d'or à la tonne !

veines de quartz. Les eaux d'infiltration circulent d'une façon particulièrement active le long de celles-ci et déterminent un maximum d'altération dans les roches voisines contiguës. Dans cette zone, l'or ne se trouve pas seulement concentré dans l'argile au voisinage immédiat du quartz, souvent il va cristalliser dans les fentes et dans les cavités du quartz lui-même. Le lieu de concentration maximum de l'or réside à la base de la zone d'altération à texture conservée, non loin de la roche intacte qui joue en quelque sorte le rôle de *bed rock*[1].

La zone d'altération et d'enrichissement ne constitue pas d'ailleurs une surface horizontale, elle présente des prolongements en profondeur le long des veines de quartz sous forme de pointes pénétrant dans le schiste cristallin non décomposé.

L'or rencontré dans de telles conditions est souvent cristallitique ou dendritique, parfois même il constitue des cristaux nets: il est à très haut titre. J'ai signalé plus haut que des phénomènes de dépôt secondaire d'or cristallisé se produisent aussi dans les diaclases de gneiss tout à fait intacts, mais, dans ce cas, il est accompagné de pyrite qui, naturellement, n'existe pas dans la zone d'altération dont il est question ici.

Il est particulièrement remarquable que, dans certaines régions et notamment dans celle de Maevatanana, on rencontre parfois, près de la surface, des pépites, dont il est question page 41 ; elles sont remarquables en ce qu'elles ne sont pas roulées, elles ont des angles extrêmement vifs (Tome I. Pl. 2, fig. 6) ; on les trouve surtout au milieu des cailloux anguleux du quartz et, comme d'autre part on n'a jamais rencontré en place dans une roche fraîche ou dans une veine de quartz en place de telles masses d'or — il en est qui pèsent plusieurs centaines de grammes — on est conduit à se demander s'il ne s'agit pas là de concentrations *in situ,* résultant de l'exagération des phénomènes de dissolution chimique et de recristallisation dont il vient d'être question.

β **Gîtes filoniens.** — 1° RÉGION D'ANDAVAKOERA. — Les gisements aurifères de la région d'Andavakoera[2] constituent l'un des traits les plus remarquables de la Minéralogie de Madagascar, aussi bien au point de vue théorique que pratique.

1. M. Arsandaux a décrit (*Bull. soc. franç. minér.*, t. XXVII, 1904, p. 81) de semblables concentrations d'or à la base de la zone latéritisée dans les gisements du Bambouk (Sénégal). Il les a attribuées au cheminement, par voie de gravité, de particules très fines d'or mises en liberté par la décomposition de la roche initiale.

2. Ces gisements ont été découverts en 1905 par M. Mortages. Il me les a fait visiter lui-même, accompagné de MM. Boyer et Benoist qui ont été pour moi des guides éclairés. Depuis mon retour, M. Benoist a bien voulu compléter ma documentation en échantillons et en renseignements et me fournir en particulier les données numériques reproduites plus loin.

Plusieurs notes ont été publiées sur ces gisements par M. Bordeaux [230], de Launay [243], Merle [247], Levat [223].

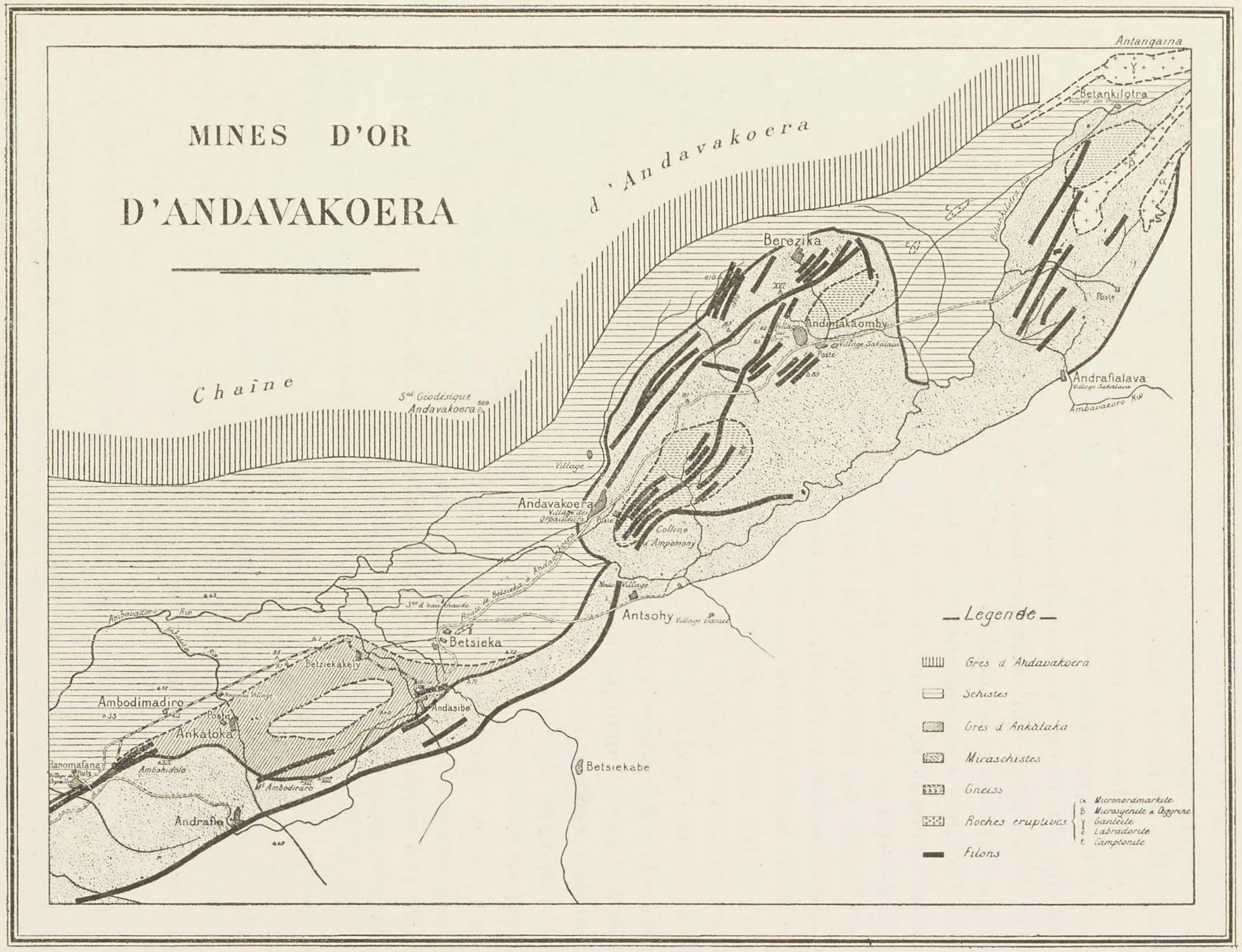

MINES D'OR
D'ANDAVAKOERA
Chaîne d'Andavakoera
Antangaina
Betankilotra
Berezika
Andrafiakomby
Poste
Andrafialava
Village
Andavakoera
Colline d'Ampanany
Antsohy
Betsieka
Betsiekakely
Ambodimadiro
Ankatoka
Andasibe
Betsiekabe
Ambohidola
Andrafia
Legende
Gres d'Andavakoera
Schistes
Grès d'Ankalaka
Micaschistes
Gneiss
Roches eruptives
Filons
Camptonite

FIG. 2.

Ils diffèrent de tous ceux qui ont été décrits dans le chapitre précédent par leur structure qui ne permet de les comparer à aucun des gisements connus dans la Grande Ile, ni même strictement à aucun de ceux étudiés en dehors d'elle. Ils en diffèrent encore par la composition de leur or qui, au lieu d'être à haut titre, est très argentifère, — par leur caractère filonien, par leur âge enfin qui est beaucoup plus récent (au moins post-triasique).

On a vu page 8 leur situation géographique sur des collines orientées Nord-Est, parallèlement à la chaîne gréseuse d'Andavakoera.

Ces collines sont essentiellement constituées par des schistes cristallins, en contact anormal du côté du Nord avec des sédiments gréseux et schisteux triasiques qui se prolongent sous les marais de la plaine. Toutes ces formations sont affectées par une série de dislocations de direction un peu variable, mais se groupant autour du Nord-Est-Sud-Ouest. Elles se manifestent par l'existence de nombreux filons de quartz qui ne correspondent pas à une cassure continue, mais sont répartis irrégulièrement dans une zone ayant une largeur moyenne de 300 mètres : ces filons ou filonnets traversent indistinctement schistes cristallins et sédiments; quand ces derniers sont gréseux, les filons s'y ramifient en stockwerks de petites veinules ; ailleurs, ils sont disposés en ramifications obliques, sensiblement parallèles entre elles et greffées sur une fracture principale. C'est dans certains de ces filons, et dans certains seulement, que se trouve l'or.

Un système de cassures sensiblement Nord-Sud, faisant par suite un angle d'environ 80° Ouest avec la direction prédominante, a permis la production de filons croiseurs dont la constitution ne diffère pas de celle des filons principaux ; comme ceux-ci, les uns sont stériles, les autres [les Raphias à Andavakoera ; à droite et à gauche de la route d'Andimakaomby à Berezika ; le filon de la galerie n° 4 à Andimakaomby] sont aurifères.

Dans la plaine, notamment à Ranomafana et à Betsieka, se trouvent des sources thermales[1] bicarbonatées (+ 62° C) qui jalonnent la direction des cassures Nord-Est. Enfin, parallèlement à cette même direction, sont orientés plusieurs dykes de roches éruptives alcalines (microsyénites, etc.) se présentant, soit dans les formations sédimentaires, soit dans les schistes cristallins : on verra plus loin que les travaux souterrains en ont fait découvrir d'autres.

Ces filons ont été découverts grâce à l'existence de blocs aurifères dans les élu-

1. Dans le filon de Ranomafana, voisin de cette source thermale, on a constaté, aux profondeurs de 25 mètres et de 60 mètres, des venues d'eau à + 52° C. dont la température est l'une des causes qui ont fait récemment abandonner le puits, aujourd'hui noyé. Dans toutes les autres mines, la température de l'eau est normale.

vions accumulées au pied des collines renfermant les filons. Ce sont ces blocs[1], tout d'abord seuls exploités, qui, au début, ont fourni la grosse quantité d'or qui a appelé l'attention sur la région d'Andavakoera. Ces gisements éluvionnaires sont toujours exploités, mais les filons en place ont bientôt fourni d'importantes quantités de métal précieux[2].

Les filons sont encaissés dans des roches différentes : à Ranomafana, ils se trouvent dans les grès (quartzites) aux affleurements, mais les travaux souterrains ont fait constater qu'en profondeur (à 30 mètres), ils se prolongent dans les schistes cristallins sous-jacents. Le filon exploité en 1915 à Berezika a été découvert dans le micaschiste (avec lamelles de graphite), mais il se retrouve du côté Nord dans les schistes. A Betsieka et à Ambilo, les filons sont encaissés dans les gneiss que traversent des veines de pegmatite; il en est de même à Andavakoera, à Berezika, où les gneiss sont associés à des micaschistes amphiboliques et à des amphibolites grenatifères[3]. A Betankilotra, la roche dominante est un micaschite, au milieu duquel sont intercalées des amphibolites dépourvues de grenat et des pegmatites.

Les filons ont une épaisseur très variable, sans que celle-ci ait un retentissement systématique sur leur minéralisation. Souvent entièrement stériles lorsqu'ils sont aurifères, ils ne le sont malheureusement pas sur tout leur parcours, mais seulement par colonnes fort irrégulières. A Ranomafana, le filon de la Grande Tranchée, qui a produit 255 kilogrammes d'or, possède une épaisseur de $0^{m},40$. A Andavakoera, les filons riches ont de $0^{m},25$ à $0^{m},30$ de puissance; à Berezika, le filon exploité en 1915 a de $0^{m},60$ à 3 mètres d'épaisseur; à Ambilo, ils atteignent $1^{m},50$. Dans les quartzites bleuâtres de Ranomafana, les veinules sont extrêmement minces; elles sont très ramifiées et enchevêtrées, ce qui explique qu'un

1. Ces blocs se rencontrent parfois à la surface du sol (Andimakaomby) et c'est grâce à cette particularité qu'ont été découverts ces gisements, mais ils sont souvent recouverts par 3 à 4 mètres de stérile. Le lavage à la batée des terres qui accompagnent ces blocs de quartz, parfois fabuleusement riches en or, ne donne pas toujours du métal précieux.

2. A Ranomafana, le filon de la Grande Tranchée, exploité par les Malgaches, jusqu'à 38 mètres de profondeur, a produit 255 kilogrammes d'or ; le filon Prosper en a donné 65 kilogrammes.

A Andavakoera, le filon Paul a produit 60 kilogrammes d'or jusqu'à 30 mètres de profondeur et, en août 1912, un seul trou sur ce filon a donné 11 kilogrammes. Le filon de la Grande Visite a fourni 200 kilogrammes d'or, dont 152 en une seule semaine.

Du filon du Grand Ambilo, exploité jusqu'à 60 mètres au-dessous des affleurements, ont été extraits 400 kilogrammes d'or, dont 102 dans un même trou. Le filon du Petit Ambilo a fourni 37 kilogrammes et le seul trou Mechechia a produit 12 kilogrammes. A Berezika, le filon Nord a donné jusqu'ici 25 kilogrammes et à Andavakoera celui des Raphias 25 kilogrammes jusqu'à 15 mètres de profondeur.

3. Ces roches grenatifères sont aurifères (type du Massif cristallin) comme tous les gneiss de la région (1 à 4 grammes à Berezika), sans qu'il y ait de relation entre cette teneur en or et celle des filons qui la traversent.

examen insuffisant ait fait penser tout d'abord à une minéralisation des quartzites eux-mêmes, alors qu'en réalité l'or est toujours localisé dans le quartz filonien.

Les faisceaux de veinules qui, en surface, accompagnent souvent les filons, sont fréquemment, eux aussi, aurifères; ils se rejoignent d'ordinaire en profondeur avec le corps principal du filon.

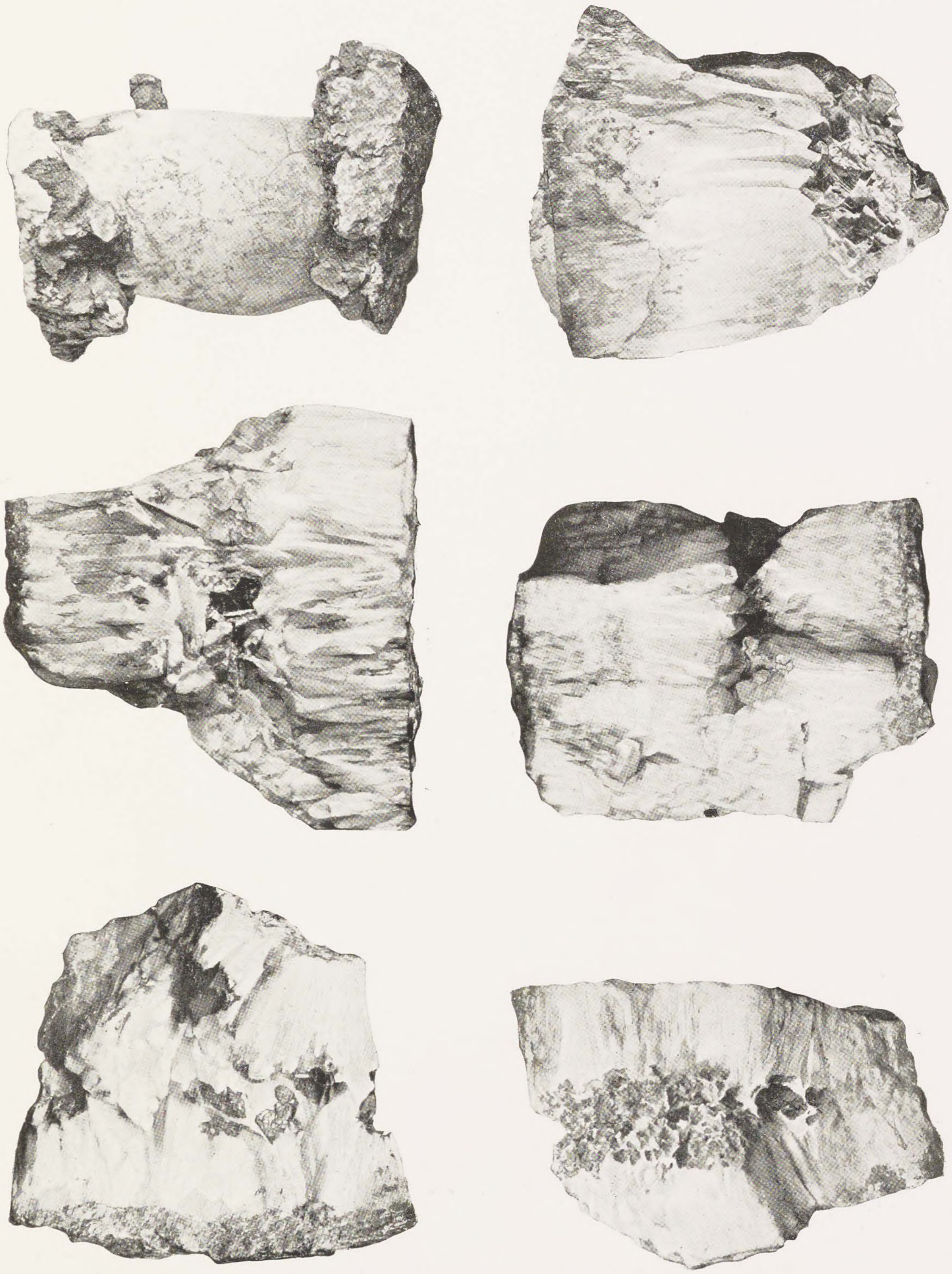
Ces filons, quelles que soient leurs dimensions, qu'ils soient de puissance uniforme ou étranglés en chapelets, ont une structure caractéristique, permettant de distinguer immédiatement un échantillon qui en provient du quartz des gisements aurifères du reste de l'île. Au lieu de consister comme ces derniers en quartz massif, ils sont constitués par des cristaux distincts de quartz, implantés plus ou moins normalement sur les parois des cassures et se terminant par un court pointement birhomboédrique ; ils sont en général assez lâchement unis les uns aux autres. Cette structure est celle des filons de quartz formés par circulation hydrothermale. La section d'un semblable filon ressemble à une *mâchoire*. Les deux parties en sont parfois rejointes jusqu'à se toucher ; les pointements quartzeux s'emboîtent alors les uns dans les autres. Mais fréquemment il n'en est pas ainsi.

Ou bien la mâchoire est restée ouverte, et il en résulte une cavité géodique, dans laquelle pointent des cristaux de quartz, seuls (Pl. 1, fig. 1) ou supportant de fort beaux cristaux de divers minéraux : à Ranomafana, ce sont des tables transparentes de barytine (Pl. 1, fig. 5), atteignant 10 centimètres, de la chalcopyrite, de la galène, de la blende, de la pyrite, des rhomboèdres de dolomite enchevêtrés, constituant des périmorphoses de gros cristaux de calcite, plus rarement des cristaux de ce dernier minéral, qui n'a été rencontré dans aucun des autres filons[1].

Ou bien le vide a été rempli par un dépôt postérieur de divers minéraux et l'on peut distinguer alors les trois cas suivants qui ne sont pas caractéristiques de venues différentes, mais qui sont des modalités d'un phénomène unique, car on les trouve parfois réunis dans le remplissage d'une même cassure, mais en des points distincts de celle-ci. Dans un même filon, les colonnes aurifères sont séparées par des parties complètement ou à peu près complètement stériles. En juillet et août 1915, à Berezika, 470 kilogrammes d'or ont été extraits, d'une colonne de 20 mètres de longueur et 2 mètres de largeur ; le métal précieux était localisé dans une portion mesurant de 1 à 6 centimètres d'épaisseur et dans laquelle certaines portions renfermaient plus d'or que de quartz : cette zone

1. J'ai vu aussi des périmorphoses de calcite en quartz, consistant en cavités ayant la forme de rhomboèdres aigus.

PLANCHE I



Divers modes de remplissage des *filons quartzeux aurifères*, Andavakoera.

aurifère était coupée transversalement par de petites veines quartzeuses absolument stériles.

1° Le remplissage de la cavité est constitué par de la barytine laminaire, ne laissant aucun vide. Tantôt, ce minéral s'est déposé directement sur les cristaux de quartz (Pl. 1, fig. 3), tantôt (Andavakoera, Ranomafana, Ambilo, Berezika), il en est séparé par de la psilomélane terreuse ou bien encore (Andavakoera) par une roche noire compacte [1], constituée par du quartz microcristallin coloré en noir par le même minéral manganésifère.

Fréquemment, il existe en outre, soit directement sur le quartz (Pl. 1, fig. 2), entre la barytine et le quartz, de la galène à larges clivages cubiques (Ranomafana, Berezika) [2], de la blende à grandes lames, noire et ferrifère (Pl. 1, fig. 6), et plus souvent couleur de miel et translucide, ou bien de la chalcopyrite (Berezika, Ranomafana), plus rarement de la pyrite qui, en général, est peu abondante. Ces minéraux se présentent seuls ou associés. Aux affleurements, ils ont donné naissance à leurs produits de décomposition habituels [pyromorphite, cérusite, anglésite (Ranomafana, Berezika), wulfénite (Berezika), malachite, etc.], implantés soit sur des restes incomplètement décomposés du sulfure originel, soit dans les cavités laissées dans le quartz ou la barytine par la disparition de celui-ci ; ces minéraux n'apprennent rien sur la genèse du filon, ce sont des produits d'altération dus à l'action des eaux superficielles.

La proportion de la barytine peut augmenter jusqu'à devenir prédominante ; dans ce cas, les filons sont toujours stériles [3] au point de vue de l'or, mais ils renferment parfois, eux aussi, des mouches de galène et de blende (Ambilo).

L'or, à une exception près, dont il sera question plus loin, ne se trouve pas dans le remplissage barytique [4] des filons ; il n'existe pas davantage dans la partie terminale des cristaux de quartz à formes distinctes. *Il est localisé dans la partie quartzeuse en contact avec les épontes* ; plus souvent au toit qu'au mur ; exceptionnellement à la fois au toit et au mur. Le métal précieux est donc parmi les premières substances déposées sur les parois des fentes, mais il est à remarquer qu'il n'imprègne jamais les épontes ; lorsqu'on trouve englobés dans un filon des

1. Ce quartz renferme 3 pour 100 de plomb, contenant lui-même de 100 à 110 grammes d'argent à la tonne.

2. Jusqu'ici, la galène domine à Berezika et la blende à Ranomafana. Dans les autres mines, ces deux sulfures sont moins abondants.

3. Plusieurs de ces filons barytiques stériles se voient en relief au sommet des collines (Ambilo, Berezika, Ranomafana, Betsieka, Andavakoera, Andrafialava). On peut observer à leurs affleurements, l'action des eaux atmosphériques sur la barytine qui a été dissoute superficiellement et se présente en masses contournées, à surface lisse, se détachant peu à peu des pointements de quartz auxquels elle était primitivement adhérente (Pl. I, fig. 3).

4. M. Lajat m'a dit cependant avoir trouvé une fois de l'or dans la barytine, à Andimakaomby.

fragments de celles-ci, ce qui est fréquent, ils sont entourés par des cristaux de quartz, implantés sur toute leur périphérie et là encore, c'est seulement à son contact avec ce noyau étranger que le quartz est aurifère, ce noyau n'est pas lui-même imprégné d'or.

L'or existe généralement seul dans le quartz ; exceptionnellement (filon du Petit Ambilo à Andimakaomby), il est accompagné de mouches de blende, de galène, de pyrite ; là où (Ranomafana) il existe du sulfure de fer, contrairement à ce qui a été indiqué par plusieurs auteurs, la marcasite est stérile et la pyrite contient de 2 à 8 grammes à la tonne (les épontes sont très pyriteuses, mais stériles).

Les filons ainsi constitués ont souvent, au moins en ce qui concerne leurs éléments non métalliques, une structure remarquablement symétrique, mais il arrive que cette symétrie est détruite, sans doute par suite de réouvertures. On voit par exemple entre une des épontes et le filon quartzeux un filonnet barytique ; dans ce cas, la partie aurifère extérieure du filon quartzeux se trouve en contact direct avec la barytine.

Il existe des filons plus complexes, formés par l'accolement d'une série de veinules quartzeuses ; c'est généralement celle du mur qui est riche en or visible (Ranomafana).

Aucune observation n'autorise à considérer la barytine comme une production superficielle, ainsi qu'on l'a dit souvent. Non seulement elle ne disparaît pas en profondeur, mais, *dans les limites où les filons ont été explorés jusqu'ici*, elle tendrait plutôt à augmenter avec celle-ci.

2° Le remplissage de la cavité filonienne est constitué par un agrégat miarolitique de cristaux enchevêtrés de quartz et d'or (Pl. 2, fig. 1 et 2 ; cf. tome I, Pl. 2, fig. 1).

L'or est le plus généralement constitué par des cristaux cristallitiques qui apparaissent, filiformes, dans les cavités. Parfois à Andimakaomby (Ambilo) et à Berezika, rarement à Andavakoera et à Ranomafana, il se trouve en lames minces, disposées dans tous les sens ; en octobre 1912, un bloc de quartz pesant $10^{kgr},500$ a été trouvé à Ambilo, qui a fourni $1^{kgr},212$ d'or entièrement à cet état lamelleux. L'examen microscopique montre que ces cristaux d'or, quelle que soit leur structure, se sont, pour la plus grande part, formés après les petits cristaux de quartz qu'ils entourent et qu'ils moulent. J'ai cependant observé un cas dans lequel (remplissage ultime de la cavité d'un filon mince) on voit des cristaux de quartz implantés sur des fils d'or qui leur ont servi de centre d'attraction.

En 1913, il a été trouvé à Berezika une veine ($0^{m},10$ à $0^{m},15$) de quartz ne renfermant pas d'or à la racine des cristaux, mais dans laquelle le remplissage est constitué par du quartz pulvérulent renfermant, à l'état disséminé, de petits



1



2



3



4

Clichés Cintract et Fallou

Imp. Catala frères, Paris.

Or. (Electrum) ; Andavakoera ; remplissage (or et quartz) d'un filon de quartz (fig. 1 et 2). — *Quartz avec or,* blende et dolomite (en partie dissoute) ; (Ranomafana) (fig. 3). — *Or sur barytine* ; (Betankilotra (fig. 4).

A. CHALLAMEL, ÉDITEUR

cristaux d'or ; il en a été extrait 10 kilogrammes de cette veine qui ne contenait pas de sulfures.

Dans les filons de ce type, la production de l'or a été parfois discontinue ; elle a eu lieu au début[1] dans la racine des cristaux de quartz, puis à la fin du remplissage des filons, dans deux périodes séparées par la cristallisation de la partie stérile des grands cristaux de quartz pointant dans la mâchoire. Le fait que le quartz associé à l'or du remplissage de la cavité n'est pas géométriquement orienté sur celui des parois semble indiquer une cristallisation plus rapide, gênée peut-être par l'existence de sels métalliques dans la solution qui circulait dans la fissure, mais il est important de noter que dans un même filon, contenant de l'or enveloppé par le quartz des épontes et de l'or faisant partie du remplissage ultime, le titre du métal précieux de ces deux périodes paraît être le même. Cela indique que s'il y a eu discontinuité dans l'apport des solutions aurifères, celles-ci du moins n'ont pas changé de composition (en ce qui concerne l'or) avec le temps ; en d'autres termes, il n'y a pas eu deux venues aurifères distinctes,

C'est ce type qui a fourni les plus riches découvertes et en particulier les blocs merveilleux des éluvions ; il est surtout fréquent à Andavakoera[2].

On pourrait lui rattacher les filons dans lesquels on ne trouve entre les mâchoires presque réunies que de petites lames contournées d'or, qui ne sont pas accompagnées de quartz.

3° Ce type est une variante du précédent, mais il en diffère par l'existence de sulfures (blende, galène en masses cristallines à larges clivages, pyrite), en général très faiblement aurifères et très peu argentifères.

La pyrite possède un maximum de 30 grammes d'or à la tonne, généralement moins et souvent pas du tout. Quant à la pyrite des roches encaissantes, elle est stérile. Les teneurs de la galène varient de 31 grammes à 0 pour l'or, de 46 grammes à 0 pour l'argent. La blende blonde de Ranomafana ne contient pas d'or et parfois seulement des traces d'argent ; un échantillon aurait été trouvé jadis,

1. Il est intéressant de signaler qu'en général cet or est à peu près complètement exempt de sulfures, contrairement à ce qui a été annoncé par quelques auteurs ; là où, comme à Ranomafana, il existe de la pyrite dans le quartz au contact de ses épontes, elles-mêmes très pyriteuses, cette pyrite est stérile.

2. Au moment de ma visite à cette mine, il a été trouvé (dans les éluvions) un morceau de quartz de la grosseur du poing, renfermant environ 1 kilogramme d'or. Dans ce même gisement, en septembre et décembre 1911, a été rencontré un bloc de $8^{kgr},200$, qui a donné $2^{kgr},113$ d'or, ainsi qu'un autre pesant 24 kilogrammes et qui a fourni $4^{kgr},465$ de métal précieux. Un troisième, trouvé en septembre 1912, du poids de $2^{kgr},500$, renfermait 790 grammes d'or. Enfin, un échantillon d'Ambilo, du poids de 2 kilogrammes, a donné 700 grammes d'or (août 1912). Il faut citer aussi un bloc de 17 kilogrammes, trouvé en 1905 dans la visite Nord d'Andimakaomby, qui renfermait $7^{kgr},5$ d'or.

qui contenait 22 grammes d'or à la tonne, mais le fait n'a pu être vérifié et en tout cas ne s'est pas reproduit. A Berezika, la blende est stérile (sous la réserve des échantillons décrits plus haut). Comme particularité minéralogique à signaler, à Ranomafana, la blende mielleuse est distribuée en gros cristaux dans le quartz et entoure quelquefois un cristal de galène.

Aux affleurements, on trouve souvent des échantillons dans lesquels les sulfures, au lieu de se présenter sous forme de grosses masses, constituent des cristaux de un à plusieurs centimètres englobés dans du quartz; par altération, tous ces sulfures ont disparu et le quartz est creusé de cavités (moules en creux des cristaux de sulfures) (Pl. 1, fig. 4, et Pl. 3, fig. 1 à 3) dans lesquelles se trouvent des fils rectilignes et sinueux d'or natif, formés par des chapelets de cristaux que termine un pointement distinct. Ces échantillons ont été généralement considérés comme fournissant la preuve d'une recristallisation secondaire de l'or et comme les cavités sont souvent tachées de rouge, le minéral disparu a été attribué à la pyrite. L'examen d'échantillons, trouvés à Ambilo au moment de mon voyage, me permet de montrer que ces deux suppositions sont inexactes. Ces échantillons consistent en quartz contenant de la blende noire, ferrugineuse, intacte, au milieu de laquelle sont englobés des fils d'or, semblables à ceux des géodes (Pl. 3, fig. 3). Un autre échantillon a été découvert plus récemment à Berezika, dans lequel l'or se trouvait non seulement dans de la blende, mais encore dans de la galène; dans ces deux cas, la cristallisation de l'or et des sulfures de zinc ou de plomb a été incontestablement simultanée; cette association est semblable à celle que j'ai décrite jadis [1] à la mine de la Gardette (Isère), et il est à noter que, comme à Madagascar, dans ce dernier gisement, les cristaux d'or englobés par la galène sont cristallitiques et allongés suivant un axe ternaire.

En 1915, il a été rencontré à Berezika du quartz renfermant de ces cavités produites par la disparition de blende ferrifère; elles étaient à ce point nombreuses que le quartz avait l'aspect d'un rayon de miel; l'or y abondait en petits cristaux, en filigranes et en lamelles libres, de telle sorte qu'il tombait, comme en poudre, au moment de la rupture du quartz.

J'ai vu des échantillons dans lesquels ces cavités sont creusées dans l'extrémité libre du quartz des géodes; dans ce cas, il n'y a pas eu discontinuité dans la minéralisation, les cristaux des parois ayant continué à se nourrir quand l'or et les sulfures ont commencé à cristalliser; il est exceptionnel, comme aussi celui de cavités semblablement placées, mais dépourvues d'or (Andavakoera, Ranomafana).

4° Je signalerai un cas qui a été observé, il y a quelques années, à Ranoma-

1. *Minéralogie de la France et de ses Colonies*, II, 424, 1896.



Fig. 1.



Fig. 2.



Fig. 3.



Fig. 4.

Or (Electrum) cristallitique, dans *blende* (fig. 3) ; dans les figures 1, 2, 4, la blende a disparu ; Andavakoera.

fana ; un filon possède une structure peu régulière, peut-être à cause de l'existence de fragments de grès qui ont servi de centre à des cristallisations quartzeuses. Quoi qu'il en soit, l'axe du filon est formé par une association de quartz, de longs cristallites d'électrum, sur lesquels sont implantés de petits cristaux de blende brun foncé ou jaune, de quartz, et de dolomite.

Sur l'échantillon représenté par la figure 3, de la planche 2, on distingue l'aspect carrié du quartz, dû à la dissolution d'une partie de la dolomite. L'examen des parois de ces cavités fait voir que la cristallisation du quartz et du carbonate a été simultanée. C'est le seul exemple que j'ai observé de dolomite non drusique à Andavakoera.

Titre de l'or. — L'or de tous les gisements qui nous occupent présente la particularité d'être à bas titre. Sa composition moyenne est de 750 pour 1 000, le reste étant surtout constitué par de l'argent ; les titres extrêmes observés sont 658 et 765 pour 1 000 (*électrum*). La couleur de cet or, verdâtre lorsqu'il est en paillettes, jaune blanc quand il a été coulé en lingots, se distingue, dès le premier abord, de celle de l'or jaune, à haut titre, de toutes les autres régions de Madagascar.

Si cet or est toujours argentifère, son titre varie un peu avec les filons ; le plus bas est celui observé à Andavakoera, puis viennent par ordre de richesse croissante Ranomafana, Andimakaomby, Betsieka, enfin Berezika et Andrafialava dont le titre est le plus élevé.

Le titre de l'or ne varie pas avec la profondeur : à 60 mètres de profondeur, il est en moyenne de 710 pour 1 000 à Ranomafana et de 760 pour 1 000 à Berezika, comme à la surface.

Gîte d'argent natif. — Il me reste à signaler un fait remarquable observé à Betankilotra et sur lequel j'ai été documenté par MM. Jamet et Rouaix ; je n'ai pu voir que l'emplacement du point intéressé, la partie riche du filon ayant été entièrement dépilée peu avant ma visite à la mine, mais j'ai étudié une abondante série d'échantillons en provenant.

Dans le gneiss, orienté Nord-Sud et redressé presque verticalement, a été observé, au voisinage d'une pegmatite, un filon complexe, orienté sensiblement Est-Ouest. Il présentait la succession suivante du toit au mur : 1° un filon de barytine brune ou rougeâtre, stérile, de $0^{m},50$ d'épaisseur ; 2° un filon de barytine blanche, localement argentifère[1] ; 3° un filon quartzeux aurifère, se coinçant en

1. Par places, cette barytine était bleuâtre (existence de sulfures ?). Cette couleur a été constatée aussi dans la barytine d'un filon situé au Nord-Est du mont Antangaina et sur un autre près de Ranomafana ; cette barytine ne renferme pas d'argent, mais des traces d'or.

profondeur et remplacé alors par un filon de même nature ayant de $0^m,20$ à $0^m,30$ de largeur. Çà et là, des veinules quartzeuses contenant de la pyrite stérile ont été rencontrées entre le quartz et la barytine ; enfin, au toit du filon quartzeux et à environ 2 mètres de la surface, a été trouvée une petite poche de corrosion renfermant une boue très riche en or et contenant de petits fragments de barytine incrustée d'or (Pl. 2, fig. 4), mais paraissant sans relation avec la barytine argentifère.

La barytine blanche n'était très argentifère que dans une colonne mesurant 6 mètres $\times$ 15 mètres, et dans un autre point, l'on n'a observé que des traces d'argent ; le reste de ce filon était stérile. L'argent se trouvait à l'état natif ou formait de petites masses cristallines (Tome I, Pl. 2, fig. 3) dont la plus grosse pesait 500 grammes. Un échantillon de barytine, très riche en argent natif, que j'ai examiné, est traversé par des veinules extrêmement minces d'argyrite. Par simple broyage de la barytine, il en a été extrait 35 kilogrammes d'argent (à 990e) en grenailles ; la barytine finement pulvérisée, séparée de celles-ci par tamisage, renfermait encore de 43 à 65 kilogrammes d'argent à la tonne.

Le filon quartzeux contenait de l'or visible, surtout abondant au toit de la colonne riche en argent ; il en a été extrait 22 kilogrammes, dont le titre (720 pour 1 000) était sensiblement identique à celui des autres filons de la région.

L'existence de l'argent natif n'a été observée nulle part ailleurs et il est remarquable de noter sa stricte localisation dans la barytine, ainsi que le fait qu'il n'était pas associé à l'or.

Classification. — Quelle place faut-il donner aux filons d'Andavakoera dans la classification des gîtes aurifères ?

M. de Launay a discuté la question [243], en se basant sur les observations que lui ont communiquées MM. Bordeaux et Callens ; il a insisté sur le parallélisme des filons aurifères et des dykes de roches éruptives, ainsi que sur l'existence de sources thermales alignées suivant des cassures de même direction ; il en a conclu que ces gîtes sont en relation génétique avec ces roches éruptives et il les a comparés aux filons auro-argentifères tertiaires, les rapprochant notamment de ceux de Cripple Creek, à cause de l'existence de phonolites ou de roches connexes dans les deux gisements : il n'a pas caché d'ailleurs qu'il existe des différences, telles que l'absence, à Madagascar, de tellurures et de fluorine.

J'ajouterai quelques observations qui tendent à augmenter encore l'importance de ces différences ; la lumière n'est pas faite d'une manière suffisante sur les relations, autres que celles de direction, pouvant exister entre les filons et les roches éruptives. Les ingénieurs, qui ont écrit sur Andavakoera, après avoir visité les mines, présentent des vues discordantes à cet égard. Pour les uns, les filons

seraient antérieurs et pour les autres postérieurs à ces roches. Je dois reconnaître que, personnellement, je n'ai pu voir aucun contact permettant d'éclairer cette question, mais M. Benoist m'a envoyé des échantillons qui ont été recueillis après ma visite à 111^m,50 et 148^m,50 d'avancement dans les travaux souterrains d'Andimakaomby (Galerie N° 5 Ouest-Est d'Ambilo). Il s'agit de labradorites, formant deux dykes, ayant respectivement 1^m,50 et 1 mètre d'épaisseur, qui coupent nettement les filons. Ces roches éruptives sont donc postérieures à la venue filonienne, mais on ne peut rien dire de plus, les microsyénites de la région n'étant connues en contact ni avec les filons aurifères ni avec ces filons basiques.

En outre, tandis que l'on observe toujours dans les roches éruptives associées aux filons auro-argentifères tertiaires connus, d'intenses phénomènes d'altération (propylitisation), à Andavakoera, les roches en contact avec les filons ne présentent rien de semblable : tantôt on peut voir à la surface du sol, à Andavakoera même ou bien dans certains travaux souterrains (Ranomafana, puits E, premier niveau, travers banc S, entre 114 et 116 mètres d'avancement), le gneiss et les veines de pegmatites interstratifiées d'une fraîcheur complète; tantôt les gneiss sont très altérés, mais d'une façon spéciale, ses feldspaths sont damouritisés et imprégnés de carbonates; la roche est riche en pyrite stérile et l'on peut se demander dès lors si cette altération est contemporaine de la production du filon ou bien si elle n'est pas plutôt due à des lavages postérieurs, les filons servant de drain aux eaux superficielles.

Je considère donc la question comme restant ouverte; jusqu'à nouvel ordre, les filons d'Andavakoera paraissent constituer un type très particulier de gîtes auro-argentifères. Si l'on peut arriver à démontrer leurs relations avec les roches éruptives leucocrates de la région, il me semble que c'est des filons aurifères de la Californie, en relation avec les granodiorites, qu'il faudrait les rapprocher.

Il est à souhaiter que les progrès de l'exploitation apportent un peu de lumière sur ce que deviennent ces filons en profondeur : jusqu'ici les quelques dizaines de mètres explorées par les travaux en cours (60 mètres) ont montré la même disposition générale qu'à la surface, mais il semble malheureusement bien établi que les zones aurifères y deviennent de plus en plus rares à mesure qu'on s'éloigne de celle-ci.

Filons plombifères voisins. — Quelques mots sont nécessaires sur l'existence, au Nord-Est et au Sud-Ouest de la région d'Andavakoera, de filons quartzeux présentant la structure qui vient d'être décrite, mais se distinguant des précédents en ce que jusqu'ici la plupart de ceux qui ont été prospectés sont ou bien stériles ou pauvres au point de vue de l'or.

Peu nombreux dans la direction du Nord-Est, au delà du col d'Ambararata, ils abondent au contraire au Sud-Ouest de Ranomafana, conservant d'abord la même direction, puis s'infléchissant ensuite vers le Sud. Ils se trouvent dans les grès triasiques, mais non loin du contact avec les schistes cristallins ; j'en ai croisé un grand nombre en allant du Sambirano à Andavakoera.

Ils sont particulièrement abondants dans la région Ambakirano-Ambatobe, puis dans les environs de Bobasatrana, certains d'entre eux sont riches en galène, chalcopyrite, blende, englobées dans de la barytine. Les points, où de l'or visible a été rencontré, se trouvent notamment à Ankitokazo, où a été trouvé récemment un filon croiseur Nord-Sud renfermant, avec du quartz et de la barytine, une belle galène qui serait très argentifère ; au pied du filon aurifère, il existe des éluvions assez riches en métal précieux.

Au Sud de la zone qui vient d'être étudiée, les rivières irriguant les schistes cristallins (notamment la Loky et certains de ses affluents) roulent de l'or, mais cet or, à haut titre, provient de veinules quartzeuses intercalées dans les gneiss ou des gneiss eux-mêmes, et par suite ce gisement se rapporte au type décrit dans le chapitre précédent ; de telles alluvions aurifères sont connues notamment près de Mangily, puis au Sud d'Antanantanana et à Berezika même.

2° Région de l'Andrarona.

Le petit massif de schistes ardoisiers de l'Andrarona, au Sud-Ouest d'Antalaha, renferme un gîte aurifère exploité près de l'Antsahivo (affluent de l'Andrarona), sur lequel j'ai été documenté par M. Rouaix ; d'après cet ingénieur, des filons de quartz seraient interstratifiés dans les schistes ou couperaient ceux-ci. Les échantillons qu'il a bien voulu m'envoyer renferment de l'or visible, engagé dans le quartz ou englobé dans la limonite résultant de la décomposition de la pyrite ; ce quartz est saccharoïde, fragile, et ressemble plus aux quartzites à gros grain du mont Bity qu'au quartz filonien habituel. L'examen microscopique ne permet pas d'admettre que ce soit du quartz granulé par action dynamique.

L'or qu'il renferme est à haut titre et, par suite, ne ressemble pas à celui d'Andavakoera.

b. — **Gisements remaniés.**

L'érosion met à nu les gisements des types précédents, les démolit d'abord, puis en disperse les produits dans les deux phases successives suivantes :

1° Désagrégation sur place, puis accumulation des débris au bas des pentes. . . . . *Eluvions.*

2° Entraînement par les eaux torrentielles, puis fluviales. . . . *Alluvions.*

En général, les exploitations débutent par des alluvions, puis remontent par l'intermédiaire des éluvions jusqu'aux gisements originels, qui souvent se montrent trop pauvres pour rémunérer le travail.

Dans le chapitre consacré aux roches sédimentaires, je donne les caractères généraux des éluvions et des alluvions, je ne m'occuperai donc ici que des particularités qui intéressent la question de l'or.

α. **Éluvions.** — Sur les plateaux et sur le haut des pentes, sauf dans des cas spéciaux, les éluvions, les *terres de montagne,* sont pauvres en or, puisqu'elles renferment seulement le produit de la concentration sur place de celui qui est disséminé dans les roches aux dépens desquelles elles se sont formées ; mais, sous l'influence de la gravité et du ruissellement superficiel, ces matériaux désagrégés s'accumulent au bas des pentes, et d'autant plus facilement qu'ils sont plus lourds ; il se produit aussi un enrichissement par gravité, augmenté, grâce à la circulation de l'eau qui, peu à peu, entraîne les matériaux fins et légers.

L'or des éluvions n'est pas roulé, il se trouve soit isolé de toute gangue (tome I, Pl. 2, fig. 4), soit encore englobé dans les fragments de celle-ci. Les éluvions constituent la zone des pépites. La figure 1 de la planche 8, représentant la photographie d'une surface polie attaquée par l'eau régale, montre que les pépites d'or sont formées par l'enchevêtrement de cristaux isométriques, présentant des macles polysynthétiques suivant a^1. Cette structure est très générale dans l'or à haut titre des Hauts Plateaux. Le métal précieux y est parfois encroûté de limonite, d'hématite ou bien d'oxydes manganésifères, ce qui explique pourquoi une partie de cet or échappe souvent à l'amalgamation.

Les pépites sont abondantes dans la région côtière de l'Est ; M. Jamet m'en a signalé une de 900 grammes ; des pépites atteignant 80 grammes ont été recueillies dans les alluvions sèches de Morarano dans les vallées de la Befarantsa. M. Dandouau a vu en 1908 à Tamatave une pépite de 750 grammes provenant de la région. M. Bourdariat m'a indiqué la découverte d'une pépite de 600 grammes trouvée à Antsira dans la région de Tsaratanana ; le Syndicat lyonnais m'a communiqué, de la même région (Andilamavo) des pépites non roulées pesant respectivement 964, 402, 349, 140 grammes et d'autres provenant de Maroseranana (Nord d'Anivorano) pesant 102 et 48 grammes.

J'ai eu moi-même entre les mains autrefois une série de pépites (M. Suberbie) recueillies dans les environs de Maevatanana [(notamment de Ranomangatsiaka, de l'Ouest de Nandrojia), de Ranomandry (300 grammes)], et dont la plus grosse pesait 450 grammes. Le Muséum en possède une du poids de

53 grammes ; ses aspérités sont aussi vives que si l'échantillon venait d'être détaché d'un filon (tome I, Pl. 2, fig. 6). Ce sont ces pépites dont il a été question page 28 et dont l'origine secondaire peut être envisagée.

C'est aussi dans les éluvions, se trouvant au pied même des filons d'où elles proviennent, qu'ont été recueillis à Andavakoera ces blocs de quartz à teneur fabuleuse, dont il a été question plus haut.

β. **Alluvions.** — Il est important de distinguer parmi les alluvions :

1° Les alluvions anciennes qui sont situées à une altitude plus ou moins élevée au-dessus du fond actuel des cours d'eau (les alluvions de la Belambo se trouvent à quelque 60 mètres au-dessus du lit actuel de l'Ikopa). Ces alluvions anciennes ont été formées soit par les rivières actuelles, alors qu'elles avaient un lit majeur plus large, soit par des cours d'eau, plus tard capturés par d'autres ; les alluvions anciennes sont fréquemment recouvertes par des dépôts superficiels plus récents, parfois épais de plusieurs mètres. Un exemple de ces alluvions recouvertes m'a été signalé par M. Bernet dans la plaine d'Androfiakely (région de Maevatanana).

2° Les alluvions récentes qui, déposées dans le lit actuel des rivières, proviennent en partie de la destruction des alluvions anciennes. Dans cette dernière catégorie, il faut considérer le cas dans lequel une partie des alluvions est à sec pendant une période plus ou moins longue de l'année et celui dans lequel, au contraire, elles sont continuellement immergées, comme cela a lieu notamment dans les parties basses des fleuves au voisinage de leur embouchure (Mananjary en particulier).

Ces alluvions qui, au voisinage de l'origine des vallées, renferment quelquefois des blocs roulés de dimensions énormes, sont entièrement incohérentes ou bien agglomérées localement par un ciment noirâtre ferrugineux, qui peut être dur[1].

En général, et pour diverses raisons, les alluvions anciennes sont plus pauvres que les récentes, d'abord parce que la préparation mécanique y a été moins prolongée, ensuite parce que les alluvions récentes s'enrichissent par le lavage des alluvions anciennes du lit majeur et aussi parce que, s'il existe une formation aurifère en place dans le bassin de la rivière, l'érosion de cette formation n'enrichit plus que les alluvions récentes. Malgré cette pauvreté relative, ces alluvions anciennes sont souvent plus productrices, par suite de l'épaisseur moindre des

1. Les conglomérats triasiques de la base des sédiments du Sud-Ouest de l'île ne sont pas sans avoir quelques analogies extérieures avec ceux du Rand au Transvaal : cette analogie avait fait naître des espoirs, qui ne se sont pas réalisés. M. Perrier de la Bathie, qui, pendant de nombreuses années, a exploité des gisements aurifères de la région de Maevatanana, s'est demandé si certaines alluvions ne proviendraient pas de la désagrégation des poudingues de la base du Permo-trias. Le même géologue m'a signalé l'existence dans les poudingues triasiques (à cent mètres de la base) de la rive gauche du Sambirano, de quelques blocs de quartz riches en or, alors que le ciment qui les réunit n'est pas aurifère.

matériaux stériles quand on les compare aux alluvions récentes et par suite aussi de leur situation topographique plus élevée qui facilite l'évacuation des déblais résultant de leur lavage.

A ces deux catégories, il y aurait lieu d'en ajouter une autre qui, dans certains pays, est une source de richesse, mais qui, jusqu'à présent à Madagascar, n'a été d'aucune utilité, je veux parler des sables marins accumulés à l'embouchure des rivières charriant de l'or. Même là où il existe beaucoup de sable noir, on n'a pas encore trouvé d'or; peut-être est-ce dû à la nature géologique de la côte Est, qui n'a pas permis d'atteindre le *bed rock* dont le rôle mérite d'être étudié.

Dans les alluvions aurifères, le métal précieux n'est pas distribué d'une façon régulière; il se concentre à la base de la formation et surtout au contact de la roche en place (*bed rock*) ; lorsque, comme cela est fréquent sur les versants oriental et occidental de l'île, celui-ci est constitué par des assises schisteuses relevées, leurs anfractuosités retiennent l'or. Dans la zone de l'Ouest, où les fleuves[1] ont une grande partie de leur cours dirigé Est-Ouest, le pendage des schistes se fait très fréquemment en sens inverse du courant, ce qui réalise une disposition particulièrement favorable à la concentration de l'or sur le *bed rock*.

Cet enrichissement est en grande partie dû à l'action de la gravité; la différence de densité existant entre l'or et les autres constituants de l'alluvion est telle que le métal précieux chemine avec une grande facilité de haut en bas jusqu'au moment où il est arrêté par un obstacle permanent, c'est-à-dire par la roche solide, formant le *bed rock*. Cette préparation mécanique s'explique dans les alluvions en voie de charriage par les eaux courantes, elle se continue très probablement même dans les alluvions exondées sous l'influence de circulations d'eaux superficielles. Une preuve de la rapidité avec laquelle s'effectue ce classement mécanique est fournie par la rencontre, qui a été faite au contact même du *bed rock*, de petits fragments de cette monnaie coupée qui était employée à Madagascar avant l'occupation française. Une concentration du même ordre et non moins récente s'effectue aussi, après quelques crues, à la base des résidus de lavage aurifère,

1. Ces fleuves ont à peu près tous le même régime : débit très réduit en saison sèche ; crues très violentes et très rapides en saison des pluies. Leurs bassins ont une structure analogue : bassins de réception plus ou moins compliqués, situés dans les terrains anciens, reliés entre eux et aux plaines de la région sédimentaire (cours inférieur) par des couloirs souvent étroits, où la roche sous-jacente est à nu. Ces couloirs abondent surtout au milieu des schistes cristallins de la bordure du Massif ancien, aussi est-ce dans cette portion de leur cours que les fleuves sont pratiquement aurifères. Mais il semble, d'après une remarque que m'a communiquée M. Perrier de la Bathie, que les alluvions de leur lit ne soient exploitables (pendant la saison sèche) que là où il existe à proximité des placers secs permettant d'employer des orpailleurs pendant la saison des pluies, au cours de laquelle il est impossible de travailler dans le lit des rivières.

notamment à la queue des sluices d'Européens, et plus rarement après les travaux indigènes.

Fréquente dans les rivières de l'Ouest, la concentration de l'or ne s'effectue que dans des zones très étroites relativement à la largeur du lit mineur des cours d'eau ; pour cela, les Malgaches appellent celui-ci le *chemin de l'or* (*lalam-bolamena*). Même dans ces zones privilégiées, la distribution du métal précieux est fort inégale ; celui-ci s'accumule près des déversoirs des grands courants de la saison des pluies.

Les alluvions ne présentent pas toujours la structure simple qui vient d'être indiquée : une zone d'enrichissement au contact du *bed rock*, surmontée par une couche plus ou moins épaisse de stérile. Il existe parfois une succession de zones riches ; M. Lajat m'en a signalé deux dans un placer de la région d'Ankazobe, M. Jamet m'a cité un exemple (dans l'Idrambo, affluent du Fanantara), dans lequel trois zones riches étaient superposées, séparées les unes des autres par un lit argileux imperméable ayant l'apparence d'un *bed rock* décomposé. La première zone stérile avait environ $0^m,80$, la seconde 70 centimètres d'épaisseur ; les Malgaches appellent cela un *étage de terre* (tanety). Ce cas était réalisé dans une région où la pente des collines est très raide : il paraît dû à des glissements de terrain, la rivière ayant continué à couler sur la partie éboulée des lits argilo-sableux sans l'éroder.

Calibre et titre de l'or. — Reste la question du calibre et du titre de l'or alluvionnaire ; il est naturellement en relation avec ceux de l'or des gisements originels, mais sous la réserve qui va être faite plus loin. Sur les Hauts Plateaux, l'or est en général à 985 ou 990 pour 1 000 : dans la zone micaschisteuse de l'Est, il varie de 950 à 960 pour 1 000 et il tombe même à 900 dans la zone très voisine de la côte, de Mahanoro à Mananjary. Mais, dans une même région, lorsqu'on peut suivre le trajet effectué par l'or provenant d'un gîte déterminé, on constate toute une série de variations qui peuvent se résumer de la façon suivante : le titre augmente, en même temps que diminue le calibre de l'or, à mesure que l'on s'éloigne du point de départ. En effet, au voisinage immédiat du gisement originel, les petits ruisseaux charrient de l'or enlevé aux éluvions, cet or n'est que peu roulé, il est fréquemment adhérent à du quartz. Quand il existe des pépites un peu grosses, on ne les trouve généralement que sur un trajet de quelques centaines de mètres, la pente du thalweg ayant nécessairement une grande influence sur la longueur de leur transport. Le lavage ne met pas en évidence d'or très fin, bien que le quartz en donne au broyage. Le titre du métal n'est pas uniforme et la proportion d'impuretés qu'il renferme (quartz, etc.) atteint souvent 5 à 8 pour 100.

Dans les rivières et surtout dans les fleuves, les pépites deviennent exceptionnelles et sont usées (Tome I, pl. 2, fig. 5) [Morarano, vallée de la Befarantsa, entre



Clichés Boyer.

Fig. 1.

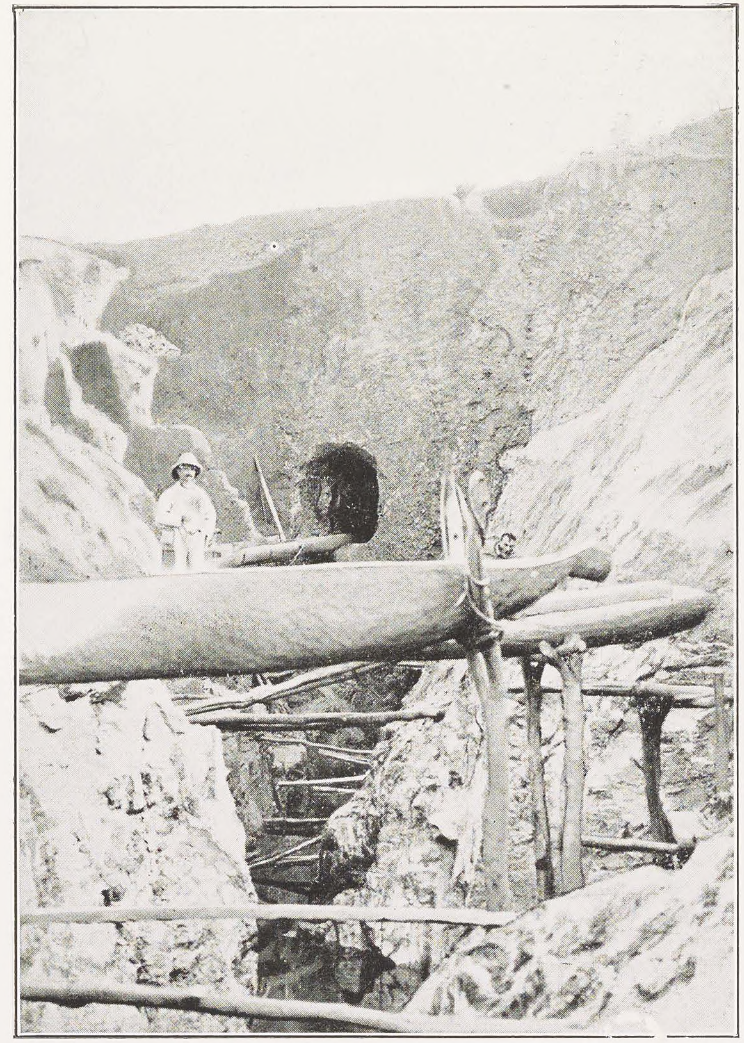


Fig. 2.

Exploitation aurifère d'Andavakoera. Grande tranchée d'Ambilo (fig. 1); Berezika (fig. 2).

la Sahandrambo et la Maha ; vallée moyenne de la Marijao, affluent de la Mahetsamena], etc. ; les gros grains diminuent rapidement en nombre et en grosseur, puis la poudre d'or[1] fait son apparition, devient de plus en plus abondante, pour subsister ensuite seule ; ses éléments, arrondis ou aplatis, sont de plus en plus fins à mesure que l'on s'éloigne de l'origine[2]. Tel est en particulier le cas de l'or des placers des rivières de l'Ouest qui ont subi un très long charriage. Cet or, plat, est souvent accompagné de particules encore plus fines qui ne sont guère arrêtées que par le feutrage épais formé sur certaines roches par diverses plantes aquatiques et en particulier des *Cyperus* (Jumelle et Perrier de la Bathie [239]).

En même temps, le titre de l'or s'élève et se fixe. Les variations les plus grandes qui m'ont été signalées à ce point de vue[3] sont celles de l'or de la Fanantara, qui est de 850 pour 1 000 dans le gisement originel et de 900 dans les alluvions (communication de M. Jamet). Dans les placers d'Ambodimanga, l'or gros a un titre de 902 à 914 pour 1 000 et l'or fin de 934 à 941 pour 1 000 (indication fournie par M. Magnien). Des variations de ce genre dues, d'une part à la disparition des inclusions et d'autre part à la dissolution de l'argent et des bas métaux, ont été signalées déjà dans l'Oural, au Klondyke, en Colombie, mais elles paraissent être particulièrement nettes à Madagascar.

Enfin, il me reste à signaler un fait d'un très grand intérêt dont je dois la connaissance à M. Magnien. La base des alluvions d'Ambodimanga, près Mahanoro, est formée à Andravoravo par un conglomérat à blocs de quartz, de granite, de micaschistes, reposant sur des chloritoschites à veines de quartz aurifère. Entre les blocs de ce conglomérat, on rencontre parfois de petits nids aurifères, constitués par l'enchevêtrement de cristallites filiformes d'or (Tome I, pl. 2, fig. 2) de couleur claire, ayant un titre de 814 pour 1 000, beaucoup plus faible que celui de l'or en place et de l'or alluvionnaire. La délicatesse de ces agrégats aurifères est telle qu'il est nécessaire d'admettre qu'ils se sont formés en place dans le conglomérat, et qu'ils résultent de la décomposition de pyrite.

1. Dans de nombreuses régions (Ankazobe par exemple), des latérites ne renfermant que quelques centigrammes d'or à la tonne, mais couvrant une grande surface, peuvent, quand elles ont été lavées par les pluies de l'hivernage, abandonner une quantité d'or appréciable qui est recueilli au début de la saison sèche dans les apports récents des rivières ; c'est ce qui explique le dicton malgache que *l'or pousse* dans ces rivières.

2. Dans beaucoup de régions de l'île (dans celle de Maevatanana en particulier), les orpailleurs malgaches savent qu'en broyant le sable noir ne fournissant plus d'or, on peut faire apparaître parfois une petite quantité du métal précieux en particules extrêmement menues. Cela tient en partie à ce que l'or est à l'état d'inclusions dans la magnétite et en partie à ce qu'il est rouillé, c'est-à-dire recouvert d'une pellicule de limonite secondaire.

3. A Andavakoera, la plus grande différence observée entre l'or alluvionnaire et l'or en place ne paraît pas avoir dépassé 10 pour 1 000. L'or exposé à l'air est plus jaune ; la proportion d'argent et des bas métaux a diminué.

Les minéraux accompagnant l'or dans les alluvions.

Les alluvions aurifères de Madagascar renferment parfois un peu de *platine* et quelques *gemmes,* qui sont étudiés dans les chapitres consacrés à ces minéraux.

DENSITÉ	OPAQUES		TRANSPARENTS
	ÉCLAT MÉTALLIQUE	ASPECT PIERREUX	
19 à 15,6	Or (j)		
19 à 14	Platine b.		
7,6 à 7,4	Galène		
7,1 à 6,5		Pyromorphite (j, or)	Pyromorphite (j. or)
5,3 à 4,9			Monazite (j)
5,2	Hématite (martite) (n, r)		
5,17	Magnétite		
5,1 à 4,9	Pyrite (j)		
4,7 à 4,5	Ilménite (n)		
4,7		Zircon (br)	Zircon (i, r, b, j)
4,5	Titanomagnétite (n)	Xénotime (gr. j)	Xénotime (j)
4,3 à 3,4			Grenats (r, o)
4,4	Chromite (n)		
4,2	Rutile (r, n)		
4,1 à 3,8			Spinelle (r, v)
		Corindon (gr)	Corindon (i, b, r)
3,8 à 3,5			Cymophane (j)
3,7 à 3,6		Limonite (j, br)	
3,6		Staurotide (n, br)	
3,5		Disthène (i, j, b)	Disthène (i, j, b)
3,4			Topaze (i)
3,3			Bronzite (v)
			Olivine (j)
3,2		Pyroxènes (n, v)	Pyroxènes (n, v)
3,14 à 3,01		Tourmalines (n)	Tourmalines (r, v)
3,1		Sillimanite (fibrolite) (b)	
		Andalousite (r)	
		Amphiboles (n, v)	
2,9			Muscovite (j, i)
		Biotite (n)	

Il me semble utile de donner ci-dessus la liste des minéraux que j'ai observés en examinant les résidus lourds de nombreux fonds de batée, après élimination des minéraux légers (quartz, feldspaths, argile, etc.). Ces minéraux sont énumérés dans l'ordre décroissant de leur densité moyenne[1]; les abréviations

1. Pour plus de précision, voir à la description de ces minéraux.



Fig. 1.



Fig. 2.

Lavage à la batée des alluvions aurifères (Hauts-Plateaux).

placées entre parenthèses sont les initiales des couleurs qu'ils présentent le plus souvent, lorsqu'ils sont réduits en petits grains.

Parmi ces minéraux lourds, les sables noirs, essentiellement constitués par l'ilménite (crichtonite) (non attirable à l'aimant) et la magnétite (attirable à l'aimant), sont particulièrement abondants à Madagascar, et ce fait est dû à la grande quantité de roches riches en magnétite (notamment *quartzites à magnétite*) qui sont intercalées dans les schistes cristallins de l'île; cette magnétite est souvent titanifère (titanomagnétite et microperthite de magnétite et de crichtonite), surtout dans les rivières drainant des régions volcaniques (Ankaratra, etc.); elle est fréquemment transformée en hématite (martite).

D. — *Modes d'exploitation.*

Toutes les fois que dans un pays neuf sont découverts de nouveaux champs d'or, il se produit vers eux, de tous les points du globe, une ruée d'ingénieurs, de prospecteurs, de mineurs, de chercheurs d'or qui y apportent leur science, leur expérience pratique, leurs préjugés... Madagascar n'a pas échappé à cette règle; chacun y est venu et y a travaillé, bien souvent sans se donner la peine ou le temps d'étudier les possibilités locales, s'efforçant, avec plus ou moins de discernement, d'appliquer les procédés d'extraction appris ou essayés ailleurs, depuis les plus rudimentaires jusqu'aux plus modernes.

Toutes les méthodes connues ont donc été expérimentées à Madagascar.

Pour le *traitement des alluvions*, on s'est servi de la batée, sous toutes ses formes, du long-tom, du berceau, de tous les types de sluice, du géant californien [228] et aussi de dragues à or.

Pour la *pulvérisation du quartz* extrait des gisements en place, des mortiers de bois ou de pierre, actionnés avec de simples barres de fer ont été utilisés, mais aussi des batteries de pilons des derniers modèles, actionnés mécaniquement dont les usines d'Andavakoera fournissent un témoin grandiose et muet.

De toutes ces méthodes si diverses, — et c'est là un sujet d'étonnement pour les ingénieurs qui débarquent pour la première fois dans la Colonie —, seuls les plus rudimentaires ont subsisté et cela paraît être une conséquence des conditions de gisements qui ont été exposées plus haut. En général, les portions aurifères du cours des rivières ne sont pas longues; la masse des alluvions qui y est accumulée n'est pas considérable et bien avant que de coûteuses installations aient pu être

amorties, le gisement est épuisé. De même, *jusqu'ici* les gisements en place n'ont guère rémunéré des installations européennes importantes ; les gisements d'Andavakoera sont les seuls qui aient pu tenir depuis quelques années.

Il semble donc, *qu'au moins pour les gisements actuellement connus*, seules les exploitations modestes puissent réaliser et réalisent des bénéfices intéressants. La plupart des exploitants européens se contentent d'acheter aux indigènes travaillant sur leur concession l'or extrait à l'aide des procédés sommaires qui vont être passés en revue. Cet achat se fait à un taux convenu, contrôlé par l'Administration.

Traitement des alluvions.

Comme conséquence de la dissémination des gisements, les chantiers sont nombreux, mais d'ordinaire peu importants. Le travail individuel est le plus en faveur. Le groupement le plus habituel se réduit à un homme qui extrait l'alluvion et à une femme qui fait la lavée ; il se complique en équipes d'un plus ou moins grand nombre d'individus qui travaillent à côté les unes des autres sous la direction de *commandeurs*, vieille expression qui vient des anciennes colonies créoles.

L'équipement d'un laveur d'or est peu compliqué ; il comprend essentiellement la longue bêche indigène (*angady*) et une pointe en fer un peu élargie (*tsolo*) fixée au bout d'un manche qui souvent est celui-là même de l'angady.

L'angady sert à la fois de pelle et de pic, c'est un outil de jet plutôt que de pression graduelle à la façon de notre bêche ; la tsolo sert à désagréger les alluvions trop tenaces pour se laisser entamer par l'angady.

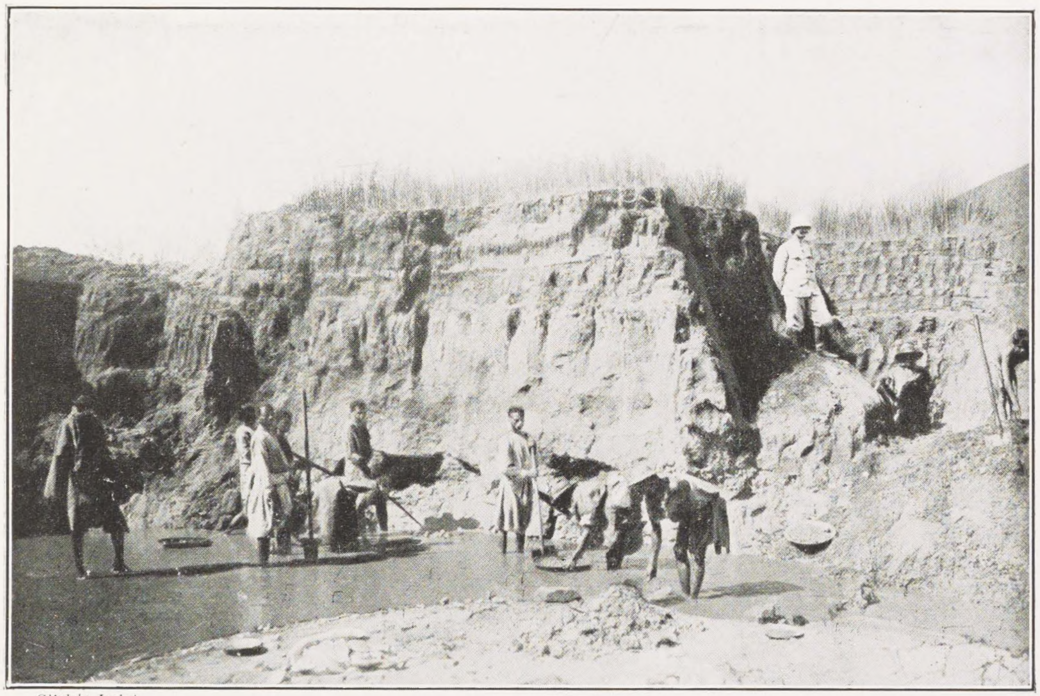
Les alluvions une fois désagrégées sont lavées à la batée (*sivana*) ayant de 50 à 60 centimètres de diamètre ; elle est peu profonde chez les travailleurs des Hauts Plateaux et du versant oriental de l'île ; elle atteint jusqu'à 20 centimètres de creux dans l'Ouest. Dans tous les cas, elle est entaillée dans du bois léger.

Quelques mannes en jonc (*sobika*) pour le transport des terres, une ou deux sébiles de bois ou de tôle émaillée complètent l'outillage.

A l'aide de son angady et de sa tsolo, le travailleur indigène enlève les stériles dont l'épaisseur atteint parfois jusqu'à une dizaine de mètres dans le cas des alluvions anciennes. Il atteint ainsi la couche aurifère ; celle-ci, défendue par les stériles contre l'oxydation superficielle, est généralement teintée de bleu ou de bleu verdâtre et c'est là le caractère qui indique la proximité du métal précieux ou plutôt la possibilité de son existence ; les alluvions abattues sont alors passées à la femme qui les lave. Les fonds de batée formés par du sable



FIG. 1.



Clichés Lajat.

FIG. 2.

Lavage au *sluice* d'alluvions aurifères ; Betanimena (fig. 1). Lavage à la *batée* ; région d'Ankazobe (fig. 2).

lourd et noir, au milieu duquel brillent les paillettes d'or, est versé dans une sébile et, à la fin de chaque journée, purifié suivant les méthodes utilisées partout.

Le traitement par sluice, là où il est en usage, se fait par les procédés connus. Pendant la saison sèche, les cours d'eau ou les menus ruisseaux sont quelquefois détournés et conduits au loin à l'aide de canaux entaillés dans la terre rouge; ce sont les *laka-tany*, sortes de sluices en terre dans lesquels sont lavées les alluvions et aussi les argiles latéritiques extraites sur place. Les Malgaches, experts dans l'art de l'irrigation, se servent avec habileté de ce procédé qui leur permet, sans grands frais, de laver des masses considérables de terres très pauvres, puisqu'ils traitent ainsi jusqu'à des matériaux contenant moins d'un décigramme d'or au mètre cube.

Les planches 5 à 7 représentent des indigènes au travail sur des alluvions à sec ou immergées.

Traitement du quartz aurifère.

Massif cristallin. — Parmi les exploitations en activité, à l'heure actuelle, dans le Massif cristallin, je prendrai comme exemple celle de M. Dropsy ouverte dans les gneiss de la région d'Ankarongana (Betsiriry). Voici comment s'y fait l'extraction : elle a lieu en carrière tant que les stériles ne dépassent pas une dizaine de mètres d'épaisseur; contrairement à ce qui se passe dans le travail des alluvions, les indigènes doivent s'associer pour pouvoir évacuer un tel cube de déblais. Quand l'épaisseur du stérile est trop considérable, ils foncent des puits dans la terre rouge, comme dans l'Afrique occidentale, de simples crans entaillés dans les parois verticales tiennent lieu d'échelles.

Une fois atteinte la couche de gneiss renfermant les intercalations maintes fois répétées de lits de quartz aurifère, les indigènes la suivent en direction à l'aide de galeries, n'ayant souvent que de 50 à 80 centimètres de hauteur; ces galeries épousent toutes les ondulations des couches; elles sont tortueuses, car, évitant tout travail qui n'est pas immédiatement productif, les travailleurs, essayant chaque jour le quartz rencontré, délaissent le gneiss altéré, les parties pauvres et surtout celles qui sont stériles. Lorsque la roche n'est pas latéritisée, le gneiss encaissant le quartz aurifère est abattu à l'aide d'une barre à mine aux extrémités épointées ou bien par l'emploi d'explosifs et particulièrement de la dynamite-gomme.

Le minerai débité est amené au jour, puis partagé entre les co-associés. A l'aide de massettes, les femmes le réduisent en fragments de la grosseur d'une noisette, éliminant le gneiss pour ne conserver que le quartz ; celui-ci est pulvérisé dans des mortiers en bois ou en pierre, à l'aide de morceaux de barres d'acier employés en guise de pilons.

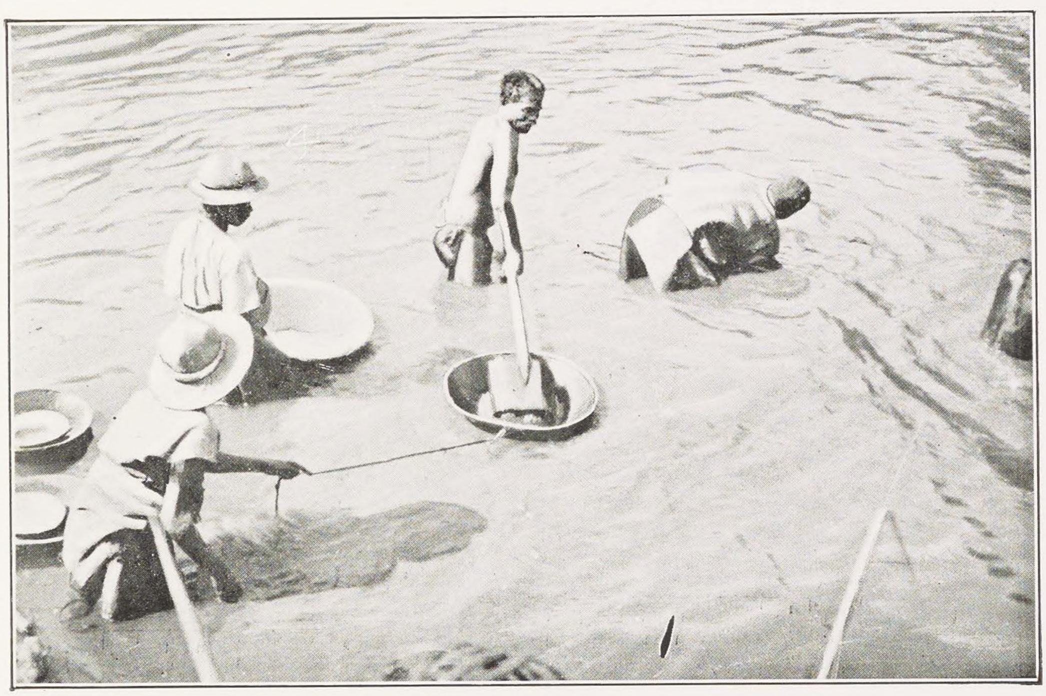
Contrairement à ce que l'on pourrait supposer, ces mortiers de bois durent souvent plus d'une année ; il se forme en effet très rapidement à leur partie inférieure une sorte de matelas de poudre de quartz qui empêche le pilon de toucher directement le bois et le protège ainsi contre l'usure. Passée au tamis n° 20, la poudre est lavée avec grand soin, jusqu'à 2 ou 3 reprises, avant d'être rejetée définitivement.

Andavakoera. — Les méthodes de travail sont assez différentes dans les mines d'Andavakoera où, dans les premières années de leur découverte, ont travaillé plusieurs milliers d'orpailleurs, pour la plupart Antaimoro. Il est nécessaire pour l'organisation du travail de tenir compte des habitudes et des préjugés des orpailleurs.

Lorsqu'un poste est créé, des équipes de 4 à 5 hommes armés de massettes fouillent les affleurements, puis, dès qu'une découverte est faite accourt la foule des travailleurs ; il se forme alors des équipes pour l'exploitation d'un trou descendant sur le filon. Une équipe se compose habituellement de 8 à 10 hommes, dont quatre à cinq — les inventeurs — sont « barres à mine », et, en quelque sorte, les propriétaires du trou, alors que les autres, embauchés par les premiers, sont « compagnies » ; ceux-ci sont payés à la journée par leurs camarades et d'après la production.

Les travaux de fonçage sur le filon se font sans explosifs et, autant que possible, sans éclairage autre que celui de la lumière du jour ; cependant, à partir d'une certaine profondeur, on a recours à la bougie : il est facile de comprendre combien le fonçage est lent ; il ne dépasse pas deux ou trois mètres par mois. Il existe cependant à Ambilo des trous d'orpailleurs ayant jusqu'à 70 mètres de profondeur. Jusqu'à 30 mètres environ, point où, en moyenne, se rencontre la roche dure, ces trous forment un vaste entonnoir découpé en gradins pour permettre de sortir les déblais à la pelle. Sous terre, les gradins ne sont plus au mur du filon, l'éponte du toit du filon servant de toit à ces puits inclinés. Lorsque le niveau hydrostatique est atteint et que la venue d'eau est trop forte pour que chaque équipe puisse vider son trou, les orpailleurs établissent une communication entre les puits voisins et du plus profond servant de puisard, ils forment une double chaîne constituée parfois par une centaine d'hommes dont l'une monte des bidons à pétrole pleins d'eau et l'autre redescend les vides ; ce mode d'épuisement, quelque





Lavage à la *batée* d'alluvions aurifères immergées dans le Lohotra.

peu primitif. peut cependant atteindre un débit de 25 à 30 mètres cubes à l'heure (Pl. 4, fig. 1).

Souvent dans la saison des pluies, un violent orage remplit complètement les trous et il faut alors abandonner le chantier jusqu'à la prochaine saison sèche, c'est-à-dire jusqu'au mois d'avril suivant.

Le mineur ne se préoccupe que de l'or visible qu'il sait reconnaître avec une très grande perspicacité ; dès que celui-ci est aperçu, le policier de garde est prévenu et le quartz du filon extrait le plus rapidement possible.

Les éluvions provenant des crêtes des filons et qui gisent dans la plaine au pied même de ceux-ci sont aussi exploitées ; c'est ce que les orpailleurs appellent les « visites ». Des équipes sont constituées comme pour l'exploitation du filon ; elles creusent de grands trous de 4 à 5 mètres de côté jusqu'à la couche caillouteuse ; les orpailleurs la lavent et cassent les blocs de quartz à la massette pour y découvrir l'or visible.

Dans tous les cas, chaque soir les cailloux renfermant de l'or visible sont remis à l'administration de la mine contre reçu et déposés dans un magasin spécial[1] ; le mardi matin, la récolte est remise à chaque titulaire d'un reçu qui procède à son broyage et à son lavage à la batée ; l'or est acheté alors par la Compagnie, à un taux convenu.

Avec ces moyens rudimentaires, les orpailleurs ne peuvent traiter du quartz contenant moins de 2 kilogrammes d'or à la tonne.

Les haldes et les tailings, résidus du concassage et du broyage du quartz traité, sont accumulés dans des fosses spéciales et envoyés tous les trois mois à l'usine de bocardage de Betsieka pour y être traités industriellement ; ils donnent souvent encore 150 grammes d'or à la tonne.

E. — *Composition de l'or malgache.*

J'ai donné plus haut des indications concernant le titre de l'or dans les divers types de gisement. Pour plus de précision, voici un tableau dont je dois la com-

1. La note pittoresque ne manque pas aux alentours des chantiers : on y voit des piquets surmontés de têtes de bœufs sacrifiés par les orpailleurs au dieu de l'or pour le rendre favorable : ce sacrifice est le *sikafara*. On voit aussi au pied de certains arbres des sortes d'ex-voto : réduction de cases malgaches, riz cuit ou bananes placés sur une feuille de bananier, flacons d'alcool ou d'absinthe préalablement vidés, puis remplis d'eau, etc.

munication à l'obligeance de la direction du Comptoir d'escompte et qui est le résumé de quelques bulletins de réalisation d'or dont l'origine (alluvions ou gisements en place) n'a pas été indiquée.

Il fournit pour les principales régions de l'île des renseignements sur la pureté de l'or et sur son titre.

RÉGIONS	POIDS		TENEUR	
	AVANT FONTE	APRÈS FONTE	EN OR	EN ARGENT
	gr.	gr.	gr.	gr.
Diego-Suarez (mines d'Andavakoera). . . .	205	189,8	850,3	141
—	300,2	260,2	831,2	163
—	5 122	4 868,5	816,3	176
—	—	5 456,5	753,3	232
—	1 355,3	1 230,2	708,4	256
—	—	7 629,5	704,5	284
Tananarive.	135,6	130,6	987	12
—	899	868,5	981,4	17
—	260,9	250,8	978,7	20
—	107,4	103,2	963,2	35
—	551,8	526,6	942,3	57
—	3 436	3 291,5	910,3	87
Tamatave.	708,2	670	981,2	17
—	350	334	980,2	18
—	93	91,8	980	19
—	73	72,1	979	20
—	702	687,7	978	21
—	53	51,2	975,5	23
Majunga.	623	605,3	964,3	35
—	101,5	93,6	961	38
—	10 479	10 167	958,5	40
—	9 152	8 879	954,2	45
Mananjary.	1 296	1 265,5	974,2	25
—	983,5	941,4	964,5	34
—	1 194	1 165,5	952,8	46
—	1 449	1 389,2	940,8	58
—	960,5	933,3	931,5	67
—	490	473,2	919,8	78
—	2 460	2 418,2	892,4	105

La perte à la fonte semble être en moyenne dans la Colonie de 3 à 4 pour 100 pour l'or alluvionnaire ; ces chiffres résultent de renseignements que j'ai recueillis à Madagascar sur de nombreuses fontes qui y ont été effectuées.

Quant à l'or provenant du quartz en place, il fournit, en général, une perte plus considérable, atteignant jusqu'à 7 pour 100, par suite de la présence de pyrite non

décomposée : aucun moyen pratique à la portée des indigènes ne leur permet de l'éliminer. Un exploitant du Betsiriry m'a signalé que dans l'un de ses chantiers, une fois arrivé au-dessous du niveau hydrostatique, il a dû arrêter le travail par suite de difficultés avec ses orpailleurs qui ne voulaient pas accepter la diminution du prix de l'or extrait rendu nécessaire par sa grande richesse en pyrite. A Soavinarivo, où une tentative d'exploitation a été faite — sans grand succès d'ailleurs — par des procédés plus modernes, l'or très pyriteux était lavé à l'acide azotique et ainsi purifié d'une façon assez satisfaisante.

F. — *Production et exportation.*

Le tableau ci-dessous donne, d'après les statistiques du Service des Mines, la

	PRODUCTION	EXPORTATION	CONSOMMATION LOCALE
	kgr.	kgr.	kgr.
1897	79,116	79,116	»
1898	124,630	124,630	»
1899	386,612	386,612	»
1900	1 114,503	1 114,503	»
1901	1 045,000	1 045,000	»
1902	1 295,114	1 295,114	»
1903	2 013,000	2 013,000	»
1904	2 552,000	2 460,004	»
1905	2 370,000	2 300,804	5,624
1906	2 238,000	2 016,765	4,795
1907	2 940,020	2 242,365	14,059
1908	3 149,334	3 112,628	12,845
1909	3 696,869	3 645,703	8,823
1910	3 234,932	3 004,878	15,065
1911	2 850,044	2 862,208	25,010
1912	2 119,571	1 996,395	35,120
1913	2 058,847	1 804,485	54,020
1914	1 782,538	1 624,484	66,415
1915	2 078,472	2 092,992	82,264
1916	1 515,367	1 449,905	104,173
1917	1 105,716	921,292	182,585
1918	844,191	643,547	230,972
1919	561,064	551,576	194,334
1920	518,772	322,191	131,652
1921	456,240	386,699	86,586
TOTAL	42 129,952	39 496,896	1 238,337

production *déclarée* de l'or dans la Colonie et l'exportation depuis le début de

l'occupation française, ainsi que la quantité de métal précieux conservée à Madagascar pour la consommation locale[1]. Pour une même année, la somme des deux dernières colonnes n'est pas égale à la première, parce que l'or produit dans une année donnée n'est pas toujours exporté au cours de la même année budgétaire, et aussi parce qu'il n'est pas toujours possible de suivre le sort des laissez-passer délivrés par l'administration. Dans les statistiques officielles figure aussi le mouvement de l'or travaillé (vieux bijoux, monnaie d'or) dont je n'ai pas tenu compte.

OR. — STATISTIQUE PAR

PROVINCES	1901	1902	1903	1904	1905	1906	1907	1908	1909
	grammes.	grammes.	grammes.	grammes.	grammes.	grammes.	grammes.	grammes.	grammes.
Tananarive.	»	1 500	94 000	3 000	8 240	5 503	2 559	8 088	6 275
Ankazobe.	»	7 550	25 000	20 000	50 464	44 440	15 537	22 575	16 326
Itasy.	10 000	10 711	26 000	174 000	165 708	111 204	136 733	94 663	78 612
Vakin'Ankaratra.	67 000	66 678	16 000	121 000	165 705	109 603	139 106	121 844	125 959
Mananjary.	514 000	593 603	744 000	508 000	590 659	546 026	508 839	497 827	508 264
Farafangana.	32 000	»	»	48 000	21 337	30 542	45 910	35 840	70 346
Morondava.	69 000	93 654	196 000	203 000	200 642	195 149	128 601	156 322	193 986
Ambositra.	12 000	20 223	110 000	473 500	270 276	292 510	283 255	277 939	261 237
Fianarantsoa.	»	39 173	89 000	126 500	77 000	50 760	48 386	51 549	80 410
Betroka.	»	»	»	»	»	640	1 615	539	2 026
Tamatave[2].	185 000	317 458	515 000	621 000	386 717	431 146	455 481	497 469	658 227
Nosy Be[3].	»	»	»	»	»	10 287	663 994	946 495	1 294 115
Vohémar.	»	»	»	»	5 194	7 407	18 630	13 711	24 494
Diego-Suarez[4].	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Maroantsetra.	26 000	»	»	»	295	»	5 344	2 622	»
Analalava.	»	»	»	»	»	»	»	»	24
Majunga.	»	»	»	»	»	380	933	225	77
Maevatanana.	130 000	144 564	198 000	254 000	427 781	402 403	431 096	421 646	476 19
Moramanga.	»	»	»	»	»	»	»	»	»

1. De 1897 à 1900 la statistique régionale n'a pas été établie.
2. La province actuelle de Tamatave est formée par la réunion des trois anciennes provinces de Tamatave, Andovoranto et Vatomandry, dont la production a été totalisée.

La production totale, depuis le début de la colonisation, s'est donc élevée à un peu plus de 42 tonnes d'or.

Le brusque accroissement observé en 1907 correspond à la découverte des mines d'Andavakoera : la décroissance dans la production qui va en s'accentuant depuis 1917 tient d'une part à la faible production actuelle de ces mines et de l'autre à la tendance de plus en plus marquée qu'ont les Malgaches à délaisser les travaux d'orpaillage, au profit aléatoire, pour le traitement du graphite (pour lequel ils sont payés à la journée) et aussi pour les

PROVINCES[1] DE 1901 A 1920

1910	1911	1912	1913	1914	1915	1916	1917	1918	1919	1920	1921
grammes.	grammes.	grammes.	grammes.	grammes.	grammes.	grammes.	grammes.	grammes.	grammes.	grammes.	grammes.
8 284	9 415	2 970	2 912	958	3 309	1 250	2 339	687	559	399	3 181
14 245	9 675	6 990	7 995	8 551	9 193	6 864	8 272	8 788	9 456	4 810	»
65 223	63 387	45 156	23 481	15 180	19 604	16 433	12 760	10 067	6 717	5 226	6 255
123 749	104 552	65 846	49 511	41 197	58 368	26 067	24 922	8 445	17 849	17 607	18 530
531 080	568 639	466 011	442 442	357 919	349 974	261 802	212 255	88 050	97 112	103 556	88 359
55 069	37 519	100 810	67 305	31 301	50 621	48 677	31 338	11 636	11 423	8 884	8 157
205 449	195 547	134 131	118 190	123 132	86 920	67 078	53 370	37 605	33 233	28 434	31 801
288 412	270 405	218 674	160 080	126 907	126 535	93 292	53 100	23 741	39 703	30 863	31 161
77 207	71 237	60 656	53 594	36 205	41 408	29 446	25 801	11 605	10 351	9 761	6 732
4 365	23 950	11 970	11 262	5 669	10 056	8 938	11 480	2 305	5 938	2 604	2 989
532 093	531 525	382 432	337 565	231 558	145 939	106 741	66 296	31 022	42 049	36 722	42 675
139	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
13 324	6 284	4 144	49 525	34 540	18 253	41 832	18 020	16 247	3 749	2 570	»
712 855	480 954	256 164	401 130	440 575	722 578	407 641	166 068	324 799	43 122	49 519	22 753
220	»	28	588	»	208	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
900	687	530	»	»	375	289	140	»	682	332	»
602 317	476 268	363 060	333 268	328 846	305 232	314 888	336 057	234 456	202 115	188 950	163 520
»	»	»	»	»	129 900	83 330	73 497	34 747	37 105	28 536	30 338

3. Les mines d'Andavakoera passent de la province de Nosy Be à celle de Diego-Suarez.

4. A partir de 1912, les mines d'Andavakoera passent dans le district d'Ambilobe. Leur production a été maintenue dans la olonne consacrée à Diego-Suarez.

travaux agricoles. Le graphique ci-dessous (fig. 3) met en évidence la marche



Fig. 3. — Production comparée de l'or et du graphite.

inverse qu'ont suivie les industries de l'or et du graphite jusqu'à la crise actuelle.

II. — PLATINE.

A. — *Gisements.*

J'ai donné page 158 du tome I, l'énumération de plusieurs rivières ou fleuves de la côte orientale dans lesquels a été trouvée une petite quantité de platine, accompagnant l'or. Si j'ai pu obtenir sur place quelques grammes du métal précieux, il m'a été impossible d'avoir des renseignements précis sur les minéraux non métalliques qui l'accompagnent dans les fonds de batée, où on l'a recueilli. Son gisement originel ne peut donc être discuté. Je ne connais de serpentine dans le bassin hydrographique d'aucun de ces cours d'eau.

La caractéristique de tous les échantillons que j'ai examinés réside dans la forme arrondie et polie des grains; ils ont donc subi un long transport.

B. — *Production.*

Il n'est pas possible de préciser la quantité exacte du platine recueilli, celle qui a été officiellement signalée à la douane est minuscule. Les statistiques officielles ne donnent en effet que les chiffres suivants :

1909.	28 grammes.
1910.	283 —
1911.	148 —

C'est le minerai exporté en 1911, et provenant de la région de Vatomandry, dont j'ai donné l'analyse dans le tome I; sa teneur en platine est de 82 pour 100.

En 1914, il a été fait quelque bruit au sujet d'une prétendue découverte de platine dans les sables noirs aurifères de la région de Maevatanana. L'examen que j'ai fait des concentrés fins et grossiers de magnétite extraits de ces sables ne m'a fourni aucune trace de platine visible; des essais chimiques très complets effectués par M. Duparc [234] l'ont conduit au même résultat négatif.

III. — ARGENT.

A. — *Gisements et production.*

Aucun des gisements de galène argentifère énumérés plus loin n'étant exploité, cette source d'argent possible pour la Colonie n'est indiquée ici que pour mémoire.

Jusqu'ici les seuls gisements exploités ayant fourni le métal blanc consistent dans les filons de la région d'Andavakoera. Il n'existe pas de rubrique spéciale à cet égard dans les statistiques officielles, le métal étant exporté sous sa forme naturelle, à l'état de lingots fondus d'or argentifère dont l'affinage se fait en France. Mais, si l'on tient compte de ce fait que la teneur moyenne en argent de l'électrum de ces mines est de 25 pour 100 environ, on peut estimer approximativement de la façon suivante, et en chiffres ronds, la production annuelle en argent des mines d'Andavakoera :

1906.	3 kg.	1911.	120 kg.	1916.	102 kg.
1907.	166 —	1912.	64 —	1917.	44 —
1908.	237 —	1913.	100 —	1918.	81 —
1909.	324 —	1914.	110 —	1919.	11 —
1910.	178 —	1915.	184 —	1920.	12 —
				1921.	46 —

On a vu page 37 et aussi page 161 du tome I que le filon de Betankilotra a fourni une petite quantité d'argent natif, sans doute une centaine de kilogrammes ; toutefois la statistique de sortie a indiqué une quantité moindre à l'exportation :

1910.	26 kg. 396
1911.	4 994

En outre de ces gisements qui sont exploités, je dois en signaler un autre qui m'a été indiqué par M. Chrissement et qui est d'une toute autre nature.

Ce gisement se trouve à Rafiatokana, à l'Est d'Ankavandra. Les échantillons que j'ai examinés me font penser qu'il s'agit là de filons argento-cobaltifères du genre de ceux de Cobalt au Canada.

Une roche verte (diabase transformée) est traversée par des veinules de smaltite, accompagnée de calcite et d'argent natif, veinules ayant de 4 à 5 centimètres d'épaisseur. L'argent natif, sous forme de petites masses ramuleuses et de larges croûtes, est surtout concentré au contact de la gangue.

Il est à souhaiter qu'une prospection sérieuse fasse savoir s'il s'agit là d'un gîte exploitable ou simplement d'un gisement minéralogique.

CHAPITRE II

GITES MÉTALLIFÈRES (MÉTAUX COMMUNS)[1]

I. — CUIVRE.

A. — Gisements.

Les gisements de cuivre sont assez nombreux à Madagascar, deux d'entre eux ont été superficiellement grattés sous la domination malgache; des prospections approfondies restent à faire sur l'ensemble de ces gisements. On peut les ranger dans les groupes génétiques suivants :

a. — Gîtes d'inclusion dans les roches éruptives.

α. **Granite.** — On trouvera (T. I, p. 174) à la description de la chalcosite des indications sur un gisement, qui paraît n'avoir qu'une importance théorique, mais qu'il est nécessaire de mettre en relief, à cause du jour qu'il peut jeter sur la genèse des types de contact décrits plus loin. Il montre en effet l'existence du cuivre dans le magma granitique.

Il s'agit d'une pegmatite de la Kigioly (affluent de gauche de la Mania), intercalée dans les micaschistes, dans laquelle la chalcosite est distribuée assez régulièrement mais est cependant concentrée au mur. C'est à ce même point de vue, que je rappelle la présence de mouches d'érubescite dans la pegmatite d'Ampangabe, de chalcosite dans un granite du mont Ambatolampikely, près Antsiriribe (Est d'Ambatolampikely). Les feldspaths de ces roches sont colorés en vert par un fin pigment de malachite.

1. Le bismuth est traité dans le chapitre IV à cause de son gisement dans les *pegmatites*.

β. **Basaltes.** — Un gisement, qui a fait quelque bruit au moment de sa découverte est celui trouvé par Prince [257] à 10 ou 12 kilomètres du lac Kinkony, sur les bords de la rivière Bekiady, à proximité du village de Tomohevitra (Komihevitsy); ce gisement qui a été revu depuis lors par Mouneyres et Baron [173], par M. Perrier de la Bathie [255], puis par Levat [223] ne semble pas avoir d'importance économique.

Dans un basalte très altéré, se trouvent, en même temps que de nombreuses zéolites que j'ai décrites en 1898 [28], de petites masses de cuivre natif, souvent entourées de cuprite et séparées de la roche volcanique par de l'opale ou par du chrysocole. Le cuivre sous la même forme et pouvant renfermer (Levat) de 150 à 200 grammes d'argent à la tonne, mais pas d'or, se rencontre disséminé de la même façon dans la vaste région volcanique comprise dans l'Ambongo et le Boina entre l'Ankarafantsika et l'Andranomavo. Les zones cuprifères discontinues se trouvent généralement entre des coulées et des couches de tufs; elles sont disposées horizontalement ou localisées dans des fissures, il ne semble pas que ces gisements soient exploitables : ils rappellent ceux du cuivre dans les basaltes de Féroe.

M. Perrier de la Bathie a cité les suivants : Ambatomainty, sur la rivière de ce nom, près de son confluent avec la Hopy et aussi à 10 kilomètres en amont, sur la rive droite de la Hopy : sur l'Ambarimaninga, affluent de gauche de la Mahavavy; Antakodary, sur la rive gauche de la Mahavavy; près de l'embouchure de l'Androntsy (rive droite); Maharivo, sur la rive droite de la Mahavavy; environs de Mailaka et d'Antsohy, au Sud de Madirovalo; près d'Ankirihitra, vers le mont Tsitondroina; près Ankarambilo, en face d'Ambato. J'ai eu entre les mains de beaux échantillons de cuivre natif et de cuprite provenant de deux gisements de cette région : Bekapoka sur la Hopy et Beharika, sur la rive gauche de la Mahavavy, en amont de Bekipay.

Peut-être faut-il rattacher à la même origine un gisement observé sur l'Ankarafantsika, aux environs de Marovoay. Dans des argiles rouges à Dinosauriens, mais près de l'extrémité d'une coulée basaltique très altérée, M. Perrier de la Bathie a recueilli des nodules argileux de $0^{m},60$ de diamètre, mélangés de gypse, de chessylite et de malachite, avec une teneur moyenne de 15 pour 100 en cuivre.

Dans le Nord-Est de l'île, les basaltes cuprifères ne sont pas rares.

Entre Amboanio et Fanambana, une lave riche en heulandite renferme des mouches de cuivre natif; elle est traversée par des veinules de quartz renfermant un peu de malachite.

M. Rouaix m'a communiqué des échantillons de cuivre natif pesant jusqu'à

plusieurs centaines de grammes[1] et constituant des pépites ramifiées contenues dans le basalte traversé par un affluent de l'Andrakaraka, à 3 kilomètres Ouest d'Antalaha. Il existe aussi un peu de malachite et de cuprite dans ce gisement, que parcourent des veinules de quartz avec pyrite cuivreuse. Des veines de quartz et de barytine s'observent aussi dans une labradorite de l'Ouest d'Amboanio qui est imprégnée de laumontite, de malachite, de chessylite et de chrysocole.

Différent est le minerai trouvé à environ 15 kilomètres Sud de Vohémar, à Ianambana (ou Ambatonjanahary) à l'Ouest d'Amboanio, entre le Manambery et la Fanambana, non loin de l'embouchure de ce dernier fleuve. Des veinules quartzo-barytiques y traversent un basalte très calcifié et localement imprégné de chessylite et de malachite ; le minerai originel est l'érubescite.

b. — Gîtes de contact.

Les gisements de ce groupe présentent entre eux une remarquable analogie de constitution et de situation géologique. Ils sont localisés dans la zone, sensiblement Nord-Sud, de quartzites et de calcaires du Massif cristallin comprise entre le parallèle de Betafo et la Matsiatra.

Tous se trouvent dans une région métamorphisée par le granite, quelques-uns d'entre eux semblent bien liés à la venue de cette roche, d'autres paraissent en relation avec une roche basique, mais la question demanderait à être approfondie.

Plusieurs gisements ont été cités au Sud-Ouest de Betafo et jusqu'à la Mania. Ceux de la haute Mianjona peuvent être pris pour exemple ; j'ai été documenté à leur sujet par M. Perrier de la Bathie, qui m'a fourni, en même temps que des renseignements, de nombreux échantillons. Dans cette région, l'érosion des quartzites du massif Andranomangitsy-Olotsingy a mis à nu les assises schisto-calcaires sous-jacentes. Au Sud-Est du village de Mandro, on observe dans ces formations inférieures une amphibolite à très grands éléments, qui est probablement un gabbro transformé. Au contact de cette roche et des assises schisto-calcaires, aussi bien que dans l'une et dans les autres, s'observent des imprégnations cuprifères et de petits amas de malachite et de chrysocole, les seuls minéraux qui aient été signalés jusqu'à présent. Mais en brisant des blocs, que je dois à M. Buhan, j'ai trouvé de beaux échantillons de chalcosite, constituant le

1. Le cuivre natif de ces gisements ne forme que de petites masses ; peut-être est-ce d'un gisement analogue, encore inconnu, que provient un gros bloc de cuivre natif cité tome I, p. 160 et qui avait été rapporté en 1895 de Madagascar par Chaper, auquel il avait été donné comme provenant du Sud de Diego-Suarez.

minerai sulfuré de ce gîte. Celui-ci présente un grand intérêt minéralogique, car on y trouve de nombreux minéraux métamorphiques drusiques : hornblende, épidote, sphène, albite, parfois imprégnés de chrysocole et de malachite.

Ce gisement a été superficiellement gratté par le gouvernement Hova. Dans le voisinage, en aval de Mandro, il existe dans les mêmes conditions un gisement ferrifère dont il est question page 74.

A l'Est de Mandro, dont il est séparé par les quartzites des monts Tongafeno et Namarinana, se trouve, dans des schistes et des cipolins, associés à des cornéennes mouchetées de psilomélane, un gisement analogue, dont je n'ai vu que des produits oxydés (malachite et chrysocole) englobés dans du quartz calcédonieux ; ces minéraux cuprifères oxydés imprègnent aussi des veinules de trémolite traversant les cornéennes.

Près du village d'Ambatofangehana il faut signaler un gisement plus important que les précédents qui a été exploité par le gouvernement Hova avant la conquête et sur lequel ont été effectuées des propections récentes.

Le minerai était traité sur place dans des fours primitifs dont j'ai vu des restes sur les bords de l'Itsindra, où il existe encore des scories très cristallines, renfermant des globules de cuivre et de cuprite, indices d'une inhabile métallurgie.

La constitution de la région a été donnée page 40 du tome I ; la zone cuprifère est proche du granite, mais exclusivement comprise dans la série calcaréo-quartziteuse, surtout dans le calcaire, parfois dans les quartzites constituant des intercalations au milieu de ceux-ci. Ni une kersantite en filon ni un schiste (?) à microcline et biotite intercalé dans les calcaires ne renferment de minerai ; ces roches ne paraissent pas avoir joué de rôle dans la genèse du gîte.

Trois centres doivent être distingués suivant une direction Nord-Est. Le plus méridional et le plus important (Ambatofangehana atsimo ou Ambatovarahina) était, lors de ma visite, entre les mains de M. Pachoud qui m'a conduit dans une grande tranchée, ouverte au milieu du calcaire, où l'on voyait ce qui n'avait pas été enlevé de deux filons séparés par une vingtaine de mètres. Leur épaisseur moyenne est respectivement de $0^{m},35$ et de $0^{m},14$, avec des étranglements et des renflements : il existe des veinules parallèles et de petits croiseurs. Ce gisement se trouve à $2^{km},5$ à l'Est du village d'Ivoanana, sur le flanc Nord du mont Ibohena.

Pour la compréhension de ce gîte, il faut remonter dans le passé.

Au début de l'occupation française, vers 1898, Villiaume l'a visité et a pu voir les travaux malgaches ; il a rapporté de nombreux échantillons dont j'ai donné alors la description [29]. Aux affleurements, dans la terre rouge, se trouvaient des blocs de minerai entièrement oxydé et transformé en un mélange de malachite, de

chessylite, de brochantite, de chrysocole ; dans le calcaire, se voyaient des veinules d'*érubescite* massive, dépourvue de toute gangue ; la collection du Muséum possède une veinule de ce genre mesurant 5 centimètres d'épaisseur et qui donne une bonne idée de ce qu'était ce gisement (Tome I ; pl. 3, fig. 5).

Quand, en 1911, je l'ai visité, les amas de minerais amoncelés à l'entrée de la tranchée et résultant de l'exploitation Pachoud ne renfermaient que fort peu d'érubescite et contenaient surtout de la chalcopyrite intacte ou transformée en limonite brune compacte qu'imprégnaient de la malachite, de la chessylite et un peu de chrysocole.

Depuis lors, des prospections ont été effectuées sous la direction de M. Grandjean, puis des travaux ont été poursuivis par M. Pachoud qui a bien voulu m'envoyer des échantillons de ses dernières recherches, et enfin par la Colonie. Actuellement, dans les travaux plus profonds, on ne trouve plus du tout d'érubescite, mais seulement de la chalcopyrite et ses produits d'altération. Sur les bords des filons, le calcaire est parfois transformé progressivement en malachite qui se substitue peu à peu à la calcite, en laissant intacts les minéraux métamorphiques (phlogopite, trémolite) ; ceux-ci se trouvent ainsi englobés dans une gangue insolite. Les travaux effectués semblent indiquer que les filons diminuent rapidement d'épaisseur en profondeur.

Il s'agit là d'un gîte d'enrichissement superficiel par eaux d'infiltration, donnant successivement de haut en bas : érubescite, chalcopyrite ; sans doute, à un niveau plus inférieur, n'existe-t-il plus que de la pyrite peu cuprifère. Il faut noter cependant qu'aux affleurements, l'on ne voit pas de véritable chapeau de fer, comme cela a lieu si souvent dans les gisements de ce genre observés dans des calcaires, les minéraux oxydés superficiels sont presque toujours plus cuprifères que ferrifères.

Le minerai est, par ailleurs, excellent ; il ne contient ni arsenic ni antimoine ni zinc ; malheureusement il n'existe que des traces d'or et l'argent ne dépasse guère une vingtaine de grammes à la tonne. Une analyse faite à Tananarive sur un échantillon de chalcopyrite riche a fourni : cuivre 33 ; fer 22 ; un autre, analysé par M. Raoult, a fourni 23,8 pour 100 de cuivre seulement ; j'ai donné à la page 187 du tome I l'analyse de l'érubescite qui renferme 62,5 pour 100 de cuivre.

Le second gisement (Ambatofangehana avaratra) a été exploré par M. Jamet ; il se trouve à 5 kilomètres Nord-Est du précédent. Il est moins régulier. Il consiste en un stockwerk de petites veinules, plutôt qu'en un véritable filon. Le minerai est très oxydé, surtout en chessylite ; à quelques mètres du point où disparaît le cuivre, apparaît la galène qui a été exploitée par les Malgaches.

Enfin un dernier gisement (Vohimaranitra) est situé à $2^{km},5$ du précédent ; il s'en distingue en ce que la chalcopyrite et la malachite, que l'on n'y rencontre qu'en faible quantité, sont englobées dans du quartz.

J'ai entre les mains un échantillon de panabase, qui m'a été donné comme provenant du Nord d'Ambatofangehana ; il est engagé dans la même gangue que l'érubescite, qui vient d'être décrite, mais je n'ai pas trouvé moi-même ce minéral au cours de la visite que j'ai faite à ces gisements.

A 4 kilomètres au Nord d'Ambatofangehana, à Mahavazy, les mêmes calcaires renferment des veines d'érubescite, identiques aux précédentes.

A l'Est de tous ces gisements, qui se trouvent sur la rive gauche de la Vato et, plus au Nord, sur sa rive droite, entre elle et la Mania, il existe dans les mêmes conditions géologiques, les gisements plombifères dont il sera question dans le chapitre consacré aux minerais de plomb.

A l'Ouest d'Ambatofangehana, dans la région d'Ambatofinandrahana, il faut signaler une série de gisements cuprifères pauvres, sur lesquels j'ai été documenté par M. Perrier de la Bathie.

Un prospecteur m'a donné à Antsirabe un bel échantillon de chalcosite avec quartz engagée dans un cipolin : il proviendrait de Soavina.

A 3 kilomètres Est d'Ambatofinandrahana, près de l'ancien village d'Ambohimaletsa, les calcaires cristallins sont traversés par des veinules quartzeuses de 15 à 20 centimètres d'épaisseur, minéralisées par de l'érubescite, avec de la malachite et de la chessylite aux affleurements.

A quelques kilomètres plus à l'Est, à Amparibekely, au Sud-Ouest de Bedihy, des veines quartzeuses, atteignant $0^{m},20$ d'épaisseur, traversent des calcaires noirâtres ; elles sont minéralisées par de la chalcosite ; leurs fentes sont tapissées par des lames de muscovite aux affleurements ; la malachite tapisse les fissures du calcaire. Quelques autres affleurements du même genre, situés à l'Est de Bedihy, ne sont pas plus riches. A Ambodiala, à 4 kilomètres à l'Est d'Ambohimaletsa, une dolomie saccharoïde, à grands éléments, est localement tachée de chalcosite, qu'entourent des enduits de chessylite.

A Bezaza (3 kilomètres Ouest d'Antsakoana et à 1 kilomètre de la rive gauche de la Matsiatra), les schistes métamorphiques renferment des lentilles quartzeuses, pyriteuses et cuprifères sans intérêt.

Enfin à Anosivola, au Sud de la Manambovona, dans les calcaires cristallins encore, renfermant eux-mêmes des mouches de chalcopyrite, se trouvent des veinules quartzeuses qui renferment aux affleurements de la malachite fibreuse et de la chessylite. Je n'ai pas vu de minerai sulfuré.

c. — Veines quartzeuses aurifères dans les gneiss.

La chalcopyrite compacte, associée ou non à une fort belle chalcosite, se trouve dans les lits quartzeux, intercalés dans les gneiss de la région de l'Imaina et des environs d'Ihosy, qui sont décrits à propos de l'or.

La chalcosite se rencontre aussi dans les filons aurifères de Beando.

Ces gisements paraissent n'avoir pas d'intérêt au point de vue du cuivre.

d. — Fahlbandes.

Il semble que ce soit à ce type de gisement qu'il y ait lieu de rapporter les imprégnations de chalcopyrite et d'érubescite dans les gneiss pyroxéniques grenatifères observables près du mont Ambatomihefy, à 2 kilomètres Ouest de Kiranomena ; ces minerais de cuivre sont, eux-mêmes, aurifères et argentifères, mais ne paraissent pas en relation avec les veines quartzeuses aurifères exploitées dans le voisinage. Aux affleurements, ils sont transformés en limonite imprégnée de malachite et de chessylite terreuses.

M. Perrier de la Bathie m'a signalé dans la région d'Ambatofinandrahana, à Antsakarivo, sur les flancs du mont Vohitromby, des gneiss imprégnés de pyrite, accompagnée d'un peu de chalcopyrite : ce gîte serait important comme puissance, mais pauvre en cuivre.

Enfin, M. Levat a cité, sans préciser [223], des gisements qui paraissent analogues aux précédents et qui fourniraient de la chalcopyrite aurifère au Sud-Est de Miandrivazo et aux chutes de l'Onive, au Nord-Est d'Antsirabe.

e. — Filons quartzeux.

J'ai été documenté par M. Dubosc et par M. Fievet sur un intéressant gîte cuprifère se trouvant à Androta, à environ 45 kilomètres Sud-Ouest de Vohémar, dans la vallée de l'Antsahandrevo, affluent de gauche du Fanambana et entre celui-ci et le Manambery. Des veines minéralisées quartzeuses sont intercalées entre des quartzites micacés, des chloritoschistes et des amphibolites, formant un complexe d'environ 60 mètres d'épaisseur, au milieu des micaschistes (direction Nord-Sud). Des veines de pegmatite sont aussi intercalées dans cette série. Le gîte principal contient une magnifique érubescite violacée. Les minerais sont localisés au contact du quartz et des schistes, ils sont en partie engagés dans ceux-ci et parfois développés

au milieu d'eux. Certaines des veines de quartz minéralisé renferment des feldspaths et paraissent être des dérivations de pegmatites.

Aux affleurements, les sulfures sont transformés en une masse caverneuse de limonite, avec un peu de chessylite qui imprègne aussi les amphibolites.

Il faut signaler des veines de quartz, parallèles aux précédentes, contenant de la chalcosite, en partie transformée en malachite. Elles renferment aussi des cristaux d'épidote, minéral qui constitue de belles géodes dans les amphibolites voisines. Des filons de quartz à hématite se rencontrent dans la même région, mais ils ont une direction Est-Ouest.

f. — **Gisements de nature indéterminée.**

Je n'ai aucun renseignement précis sur les conditions de gisement d'un échantillon de chalcosite, à gangue de quartz, qui m'a été envoyé par M. Thomas comme provenant de l'Est d'Ilaka, au Nord d'Ambositra, pas plus que sur une belle chalcopyrite d'Ambararata près Ivohibe que je dois à M. Perrier de la Bathie.

B. — *Teneur en cuivre et en métaux précieux des minerais malgaches.*

En outre des teneurs que j'ai indiquées plus haut sur les indications des observateurs cités, je puis donner quelques renseignements nouveaux.

J'ai fait en effet analyser par M. Raoult plusieurs minerais de cuivre afin de

	TENEUR A LA TONNE		
	CUIVRE	OR	ARGENT
		grammes.	grammes.
Cuivre natif Andrakaraka.		4	66
Erubescite Ambatofangehana.	55,4 pour 100	1,8	38
— Androta.	63,2 pour 100	1,6	414
Chalcopyrite Ambatofangehana..	23,8 pour 100	0,5	19
— Ambararata (région d'Ivohibe).. .	36,6 pour 100	3,6	42

déterminer leur teneur en cuivre et en métaux précieux. Il s'agit là, bien entendu, du *minerai pur isolé de sa gangue.*

C. — *Production.*

Aucune exploitation ne fonctionne encore.

Les statistiques du Service des Mines donnent les valeurs suivantes à la sortie qui se rapportent à des minerais extraits pour recherches.

1909.	3 tonnes.	1915.	»
1910.	2 —	1916.	110 tonnes.
1911.	»	1917.	»
1912.	»	1918.	112 —
1913.	2 —	1920.	237 —
1914.	»	1921.	3 902 —

II. — PLOMB ET ZINC.

A. — *Gisement.*

Les minerais de ces deux métaux ne manquent pas à Madagascar, mais les difficultés de communication et sans doute aussi la pauvreté des gisements actuellement reconnus les ont fait négliger jusqu'ici.

Si on laisse de côté certains des gisements que j'ai cités à la description de la *galène* et de la *blende* et qui n'ont qu'un intérêt minéralogique, il semble que les gîtes plombifères pouvant éventuellement avoir une valeur économique sont les suivants :

a. — Gîtes filoniens.

On a vu à la description des filons d'or de la région d'Andavakoera que la galène associée à la barytine et à la blende, parfois à la chalcopyrite, entre dans le remplissage de quelques-uns d'entre eux. Sur le prolongement Sud-Ouest de la région exploitée au point de vue aurifère, les filons ne renferment plus de métal précieux, mais paraissent contenir une assez grande quantité de galène et d'autres sulfures ; les filons de Bobasatrana et d'Ankitokazo (à l'Ouest de la Mahavavy et au Sud-Ouest d'Ambakirano) peuvent être considérés comme de véritables mines de plomb.

Le dernier a été reconnu sur 500 mètres de longueur, avec une puissance de $1^{m},20$ à l'affleurement. Sa direction est Est-Ouest et son pendage de 45° vers le Nord. Il est encaissé dans les grès triasiques. La galène, en grandes lames, est associée à un peu de chalcopyrite transformée en malachite aux affleurements ; les gangues sont constituées par du quartz et de la barytine. Il existe un peu de blende mielleuse et de pyromorphite (M. Sirdey).

De la galène argentifère est aussi associée à la barytine dans les veinules quartzeuses de Sakazera. Des filons concrétionnés avec bandes renfermant, les unes de la pyrite et les autres de la galène, avec fréquence de la structure bréchiforme, m'ont été signalés par M. Perrier de la Bathie dans la vallée du Sambirano près de Migiko et à Ambaliha près de l'Ambahatra.

Villiaume a fait jadis quelques recherches sur des filonnets de galène, à grandes lames, accompagnée de blende mielleuse, filonnets anastomosés dans les calcaires liasiques, à 2 kilomètres d'Ankalampokely (partie Nord-Est de Nosy-Be). A l'inverse de ce qui a lieu dans les gisements précédents, la gangue en est exclusivement carbonatée (calcite et ankérite) ; on y trouve parfois, dans des géodes de cristaux de calcite, des cristaux nets de sulfures recouverts par des agrégats de petites paillettes de kaolinite. Quelques tonnes de minerai ont été extraites de ce gisement.

Je n'ai pas de renseignements précis sur le gisement de beaux échantillons de galène que j'ai eus entre les mains et provenant d'Ambatomitsangana (région de Tsaratanana), de la région de Fort-Carnot, et de l'Angavo. Dans cette dernière région, la galène, finement grenue, est associée à de la blende et à de la panabase dans une gangue quartzeuse.

b. — Gîtes de contact.

On a vu page 68 que les filons cuprifères d'Ambatofangehana avaratra, encaissés dans les calcaires métamorphiques, se terminent par une colonne de galène, elle a été jadis exploitée par les Malgaches jusqu'à une cinquantaine de mètres de la surface ; cette galène, à grain fin, est argentifère et c'est dans ses produits de décomposition, riches en cérusite, que j'ai observé autrefois une petite quantité de *cérargyrite*.

A l'Est, se trouvent d'autres gisements, formés dans les mêmes conditions. J'ai visité notamment les anciennes fouilles d'Ampiadiambato (à 1 500 mètres au Nord des fouilles cuprifères d'Ambatofangehana atsimo), dans lesquelles j'ai recueilli, en outre de la galène, des masses concrétionnées de smithsonite, associées à de la calamine, de l'hydrozincite, de l'aurichalcite, de la pyromorphite, et de la cérusite.

Plus au Nord, non plus sur la rive gauche de l'Ivato, mais sur sa rive droite, entre celle-ci et la Mania, il faut signaler quelques gisements explorés par M. Perrier de la Bathie ; à Ambohijanakomby, tout près de l'Ivato et à la base orientale du mont Vohibola, des veines quartzeuses traversent les calcaires cristallins ; elles renferment de la galène, d'ordinaire à grain fin, avec quelques mouches cuivreuses et de la barytine. Plus au Nord-Est, et à 2 kilomètres de la Mania, à Ampandrana au pied Nord-Ouest du Vatomavo, se rencontre un gisement analogue, dans lequel, aux affleurements, la galène est transformée en cérusite, associée à des masses jaunes, peu cohérentes, de jarosite. Une veine de barytine bleue, de 2 mètres de puissance, s'observe à une quarantaine de mètres de ce gisement plombifère ; non loin de là, des recherches ont été faites pour zinc, mais les échantillons que j'ai examinés sont des gneiss transformés en argile kaolinique blanche et friable dans laquelle je n'ai pas trouvé trace de l'oxyde de zinc annoncé.

c. — Aplites syénitiques.

Des recherches ont été faites récemment par M. Moiret sur un filon d'aplite syénitique traversant les micaschistes, à 2 kilomètres au Sud d'Ambatofinandrahana ; cette roche est imprégnée de galène à grain fin et de pyrite.

B. — *Teneur en métaux précieux des galènes et blendes malgaches.*

J'ai fait faire (par M. Raoult) les dosages suivants des métaux précieux dans quelques galènes malgaches :

	TENEUR A LA TONNE DU MINÉRAL PURIFIÉ	
	OR	ARGENT
	grammes.	grammes.
Galène[1] Ankitokazo.	Traces	70
— Ranomafana (Andavakoera).	Traces	140
— Ankalampokely (Nosy Be).	Traces	180
— [2] 2 km. S. d'Ambatofinandrahana.	0,50	67,5
Ampandrana.	Traces	83
Ambatomitsangana.	2,2	713,8
Blende blonde. Ranomafana.	Néant	25

1. Avec un peu de chalcopyrite.
2. Avec un peu de pyrite.

C. — *Production.*

Des travaux de recherches sont poursuivis actuellement sur les filons d'Ankitokazo. Les statistiques ne portent aucune indication de sortie de minerais de cette catégorie.

III. — NICKEL ET COBALT.

A. — *Nickel.*

a. Gisement.

Deux gisements nickélifères sont connus à Madagascar ; ils présentent la plus grande analogie avec ceux de la Nouvelle Calédonie. Comme eux, en effet, ils résultent de la décomposition de serpentines dérivant, elles-mêmes, de péridotites, comme eux enfin, ils renferment la nouméite en fait de minerai.

Le premier se trouve à Valojoro, au Sud d'Ambositra. Une butte de serpentine de harzburgite s'observe, isolée au milieu du granite gneissique ; elle domine d'environ 150 mètres le lit d'un ruisseau. Ses affleurements qui, seuls, avaient été grattés quand je les ai vus en 1911, sont parcourus par un réseau de fines veinules de nouméite d'un beau vert pomme atteignant jusqu'à 3 centimètres d'épaisseur. Il existe aussi des veinules quartzeuses et des filons, atteignant plus d'un mètre d'épaisseur, de trémolite fibreuse transformée en talc blanc, avec, çà et là, des agrégats de lamelles de talc nickélifère vert.

Depuis lors, une prospection a été faite sur ce gisement et, de renseignements fournis par M. A. E. Roberts [1], il résulte que des sondages ont montré que la zone nickélifère se maintient à 18 mètres de la surface. L'affleurement a été reconnu sur environ 33 hectares. La quantité de minerai à 5,5 pour 100 de nickel a été estimée à 125 000 tonnes et celle du minerai à 4 pour 100 à 250 000 tonnes.

Le second gisement a été découvert plus récemment au mont Vohitsitandanitra, à 25 kilomètres Est-Nord-Est d'Ambatondrazaka (Cf. Tome I, p. 491). Plusieurs

1. Cf. *Report of the Royal Ontario Nickel Commission* (Toronto, 1917, p. 276).

galeries ont fait découvrir dans une serpentine jaune des veines de nouméite renfermant de 5 à 6 pour 100 de nickel et très exceptionnellement 12 pour 100. La guerre a interrompu ces travaux qui ne semblent pas avoir été repris.

b. Production.

Aucun de ces gisements n'est exploité; la statistique du Service des Mines indique les exportations suivantes de minerai expédiées pour essais :

1911	400 kilogr.	1914	10 050 kilogr.
1912	450 —	1920	100 —
1913	4 555 —		

B. — *Cobalt.*

Le seul gisement cobaltifère que je connaisse à Madagascar est celui du Rafiatokana dont il est question page 58 et sur lequel je n'ai pas de précision, le minerai est de la smaltite, accompagnée d'argent natif.

La petite quantité de cobalt signalée dans quelques asbolites de la Colonie est sans intérêt économique.

IV. — MANGANÈSE.

Des minerais de manganèse ont été signalés en divers points de l'île, mais aucun d'entre eux n'a fait jusqu'ici l'objet de prospection sérieuse ; je renvoie aux articles *psilomélane* (page 303), *manganite* (page 275), *polianite* (page 245) du tome I, me contentant de donner l'analyse suivante d'un minerai de la région de Sarobaratra recueilli par M. Lasnier et qui a été faite dans le laboratoire des hauts fourneaux d'Outreau ; elle m'a été communiquée par M. Vernier.

Manganèse	54,78
Fer	6,78
Alumine	3,81
Chaux	0,60
Baryte	1,18
Silice	0,50
Soufre	0,151
Phosphore	0,163
Perte au feu	11,00

Il existe des traces d'arsenic et de magnésie, mais ni cuivre ni plomb ni zinc.

V. — FER.

A. — *Historique.*

Bien longtemps avant la conquête, il existait dans le Nord-Ouest, le Centre et le Sud-Ouest de l'île des familles ou clans qui avaient la spécialité d'extraire du fer des minerais de la Terre rouge.

D'après les renseignements que je dois à Alfred Grandidier, l'origine de cette industrie en Imerina, paraît remonter à Andriamanelo, le premier souverain d'origine javanaise et l'ancêtre de la dynastie merina qui a régné à Merimanjaka et à Ambohidrabiby de 1590 à 1615. C'est à la lisière de la forêt qui borde à l'Est le plateau dénudé de l'Imerina, où ils pouvaient se procurer facilement le combustible, que se trouvaient surtout les villages des *mpanefy* ou forgerons malgaches.

De 1835 à 1850, le Français Jean Laborde leur a appris à perfectionner leurs méthodes primitives et a fondé les beaux établissements de Soatsimanampiovana, près Mantasoa, qui n'ont eu qu'une existence éphémère.

Il existe aussi des villages de mpanefy betsileo et tanala, les premiers le long de la forêt qui fait suite à la précédente et limite le Betsileo à l'Est, les seconds dans cette forêt qui couvre le versant oriental du Massif cristallin. Mayeur en a donné, en 1777, une bonne description.

Everard parle, en 1686, des forgerons du Nord-Ouest de Madagascar auprès de la baie d'Ampasindava et François Martin en a trouvé quelques-uns en 1667 dans l'Antsihanaka.

En 1668, Flacourt signale des forgerons antanosy et antambolo et, en 1769, Modave dit que dans le pays d'Alfissach (Ahipisaka), au Nord d'Ambolo, il n'y a pas un village qui n'ait sa forge.

Mais ni dans l'Ouest, les Sakalava ni dans l'Est, les Betsimisaraka, les Vorimo et les Antaimorona n'extrayaient le fer du minerai.

B. — *Gisements.*

Actuellement, l'industrie du fer est encore réduite à la métallurgie sommaire des Malgaches ; sur la lisière de la forêt, en allant d'Ambositra à Ifempina, j'ai vu en marche de petites forges indigènes.

C'est dans le même gisement que par le passé que les Malgaches extraient leur

minerai ; ils utilisent la limonite, si abondante dans la Terre rouge, surtout dans les régions de quartzites à magnétite, beaucoup plutôt que la magnétite de ceux-ci. Il semble que, dans l'avenir, c'est de cette roche surtout que devra être extrait le minerai de fer.

a. — Schistes cristallins.

Le gisement principal du minerai de fer à Madagascar, en effet, réside dans les schistes cristallins et plus particulièrement dans les quartzites à magnétite. J'indique dans le chapitre consacré à ces roches les régions où elles sont connues, je n'y reviendrai donc pas. Actuellement, les exploitations indigènes sont essaimées sur la lisière de la forêt dans les districts de Manjakandriana, d'Andramasina, d'Ambositra, d'Ambohimahasoa et d'Ambalavao. Une exploitation est faite par M. Bouts à 4 kilomètres d'Ambatolaona. Deux bornages sont exploités par des indigènes entre Tsiazompaniry et Ambatoafo (dist. d'Andramasina).

Des prospections sont faites actuellement par la Colonie à Ambatolaona[1], à 60 kilomètres de Tananarive, sur la ligne de chemin de fer T. C. E. La magnétite est disséminée en cristaux ou en grains de 1 à 2 millimètres de diamètre, dans un quartzite à grain fin, ou forme des lentilles interstratifiées dans un gneiss à plagioclase et diopside, gneiss qui est superficiellement transformé en argile rouge. La teneur moyenne de la roche exploitée varie de 20 à 30 pour 100 de métal; grâce à son altération, elle peut être désagrégée par un simple débourbage. Quand le minerai est plus riche, il devient dur et doit être traité à l'aide de concasseurs et de broyeurs ; la teneur en fer de ce minerai atteint jusqu'à 40 pour 100 (renseignements fournis par le Service des Mines)[2].

J'ai parcouru des gisements analogues, qui pourraient être exploités, dans la région du lac Alaotra, notamment près d'Imerimandroso. Il en existe aussi dans la région de Vohiparara, près du Namorona et du futur chemin de fer du Betsileo ; dans la vallée de la Mananara, en amont de Vangaindrano, dans la région de Maevatanana, etc.

b. — Gîtes d'inclusions dans roches éruptives.

La magnétite abonde aux affleurements d'un grand nombre de gisements de pegmatites et de roches basiques (gabbros).

Dans la vallée de l'Itsindra, en particulier, des blocs de magnétite magnétipo-

1. Ce gisement avait été jadis exploité par Jean Laborde pour le compte du gouvernement malgache et son minerai traité dans ses usines de Mantasoa.

2. La partie attirable à l'aimant d'une prise d'essai a fourni : Fe^2O^3 79,69 ; FeO 18,63 ; TiO^2 0,83 ; P^2O^5 0,11 ; SiO^2 0,41 ; Al^2O^3 0,21 ; MnO traces ; ni soufre ni vanadium. C'est une magnétite en voie d'oxydation.

laire se trouvent en telle quantité dans les argiles latéritiques, résultant de la décomposition du gabbro, qu'on peut supposer qu'il s'y rencontre des gisements de ségrégation. Ils n'ont pas été prospectés, au moins à ma connaissance.

c. — Gîtes de contact.

Villiaume a fait jadis quelques travaux de recherche sur un gîte de magnétite se trouvant à Andranomantoraka, près d'Ampasibitika, dans une cornéenne à grenat et pyroxène résultant du métamorphisme d'une marne liasique par le granite à riebeckite. Quand je suis passé sur ce gisement, la galerie était inaccessible, j'ai vu seulement le minerai extrait qui est une belle magnétite à gros grain.

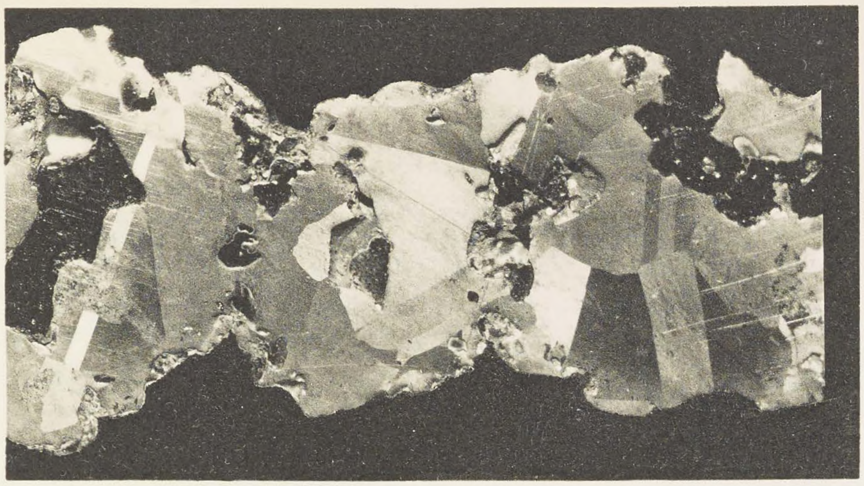
Je dois à M. Perrier de la Bathie la connaissance d'un gisement ferrifère, situé non loin de Betafo, dans la haute vallée de la Mianjona, en aval de Mandro, au voisinage du gîte de cuivre dont il est question page 62. Il me paraît également dû à l'action d'une roche de contact. En effet, on y observe deux bancs de micaschistes, orientés Nord 60° Ouest, éloignés d'environ 50 mètres et accompagnés de puissants lits irréguliers d'une amphibolite feldspathique qui n'est autre chose qu'un gabbro transformé. Une zone minéralisée, d'une épaisseur de $0^{m},60$ à 2 mètres, est essentiellement constituée par un quartzite à magnétite à très gros grain et par un quartzite à hématite écailleuse très schisteuse, rappelant l'*itabirite* du Brésil ; il existe aussi des masses à grands éléments constituées par un mélange de magnétite et d'hématite lamellaire. De nombreux minéraux, épidote, hornblende, diopside, sphène, accompagnés de magnétite, se rencontrent aussi bien dans les quartzites que dans l'amphibolite.

L'intérêt économique de ce gisement reste à préciser.

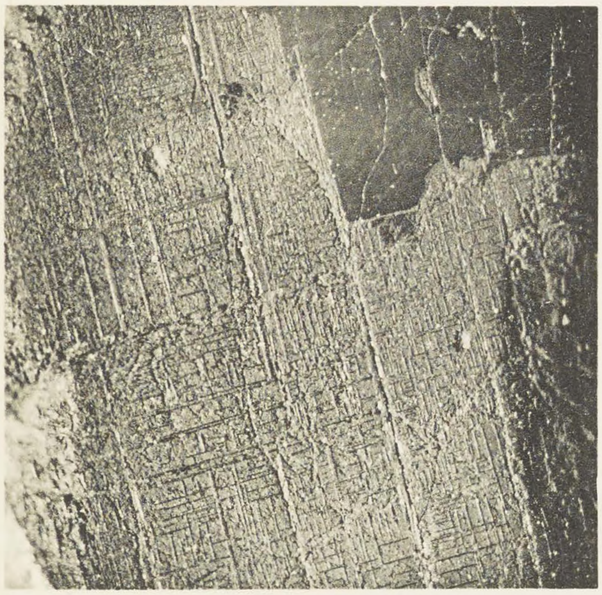
C. — *Production.*

D'après les statistiques du Service des Mines, la production a été la suivante ; elle a été absorbée par l'industrie locale.

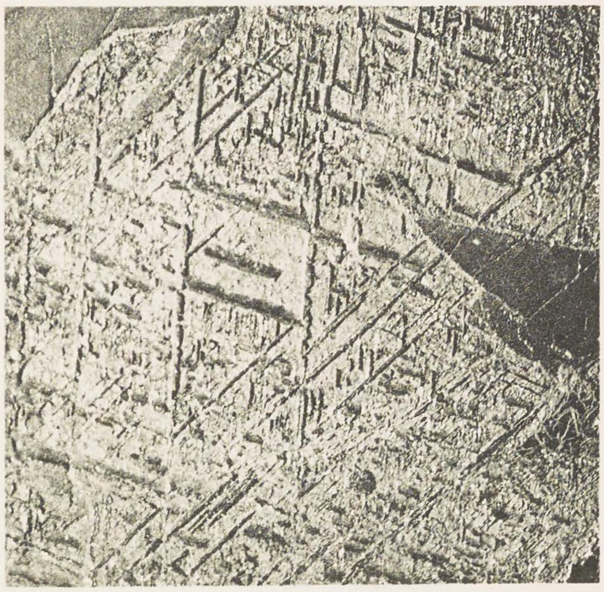
Année	Production	Année	Production
1902.	41 tonnes.	1912.	22 tonnes.
1903.	25 —	1913.	32 —
1904.	16 —	1914.	28 —
1905.	8 —	1915.	25 —
1906.	26 —	1916.	47 —
1907.	17 —	1917.	29 —
1908.	7 —	1918.	26 —
1909.	10 —	1919.	20 —
1910.	8 —	1920.	35 —
1911.	1 —	1921.	44 —



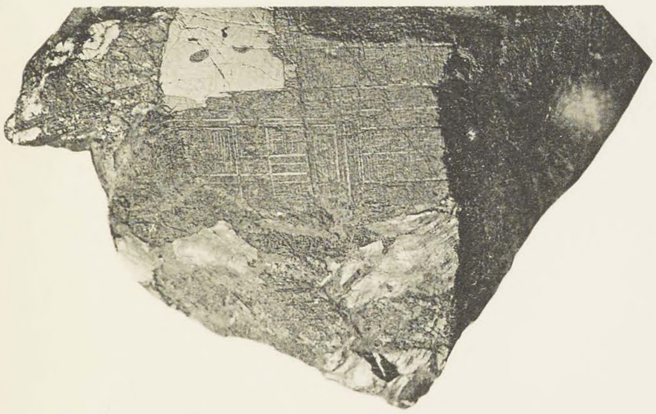
I



2



3



4



5

Clichés Fallou

Imp. Catala frères, Paris.

Fig. 1. Structure cristalline (avec macles polysynthétiques) d'une *pépite d'or ;* Marijao. — *Fers titanés.* Microperthite de *magnétite* et de *crichtonite.* Sections parallèles à p de la magnétite. Vangoa (fig. 2 et 4) ; sections parallèles à a^1 de la magnétite ; crichtonite dominante ; Ianakafy (fig. 3) ; magnétite dominante ; Itorendrika (fig. 5).

A. CHALLAMEL, ÉDITEUR

VI. — TITANE

A. — *Propriétés et usages.*

Les usages du titane sont multiples.

Pendant longtemps, les *fers titanés* ont été considérés comme impropres à la métallurgie du fer et de l'acier ; depuis quelques années, de grands efforts sont faits pour trouver un moyen de les utiliser et actuellement, en Amérique, ils commencent à être employés dans ce but. Ils servent à la fabrication, au four électrique, du *ferrotitane,* renfermant de 10 à 15 pour 100 de titane; ce produit est utilisé pour la fabrication de l'acier, en raison de la propriété que possède le titane de purifier le métal de ses gaz occlus ou combinés et de le rendre par suite plus dense et plus homogène. Le rutile pourrait être employé pour le même objet, mais son prix est en général trop élevé pour que l'opération soit avantageuse.

Par contre, c'est lui qu'on utilise de préférence dans l'industrie de la teinture, pour la fabrication de mordants et de colorants.

L'oxyde de titane a été préconisé comme succédané de l'oxyde d'étain dans la fabrication des verres opaques et des émaux, et aussi pour la fabrication d'électrodes de lampes à arc, pour celle de sels utilisés pour certains procédés de fixation de l'azote de l'air, pour la peinture comme succédané de la céruse, etc.

Une fabrication intéressant la défense nationale a été basée sur une propriété du chlorure de titane. Ce corps émet des vapeurs extrêmement épaisses et denses; 200 tonnes en ont été produites par les usines de guerre comme succédané du chlorure d'étain plus coûteux et employées à charger des obus fumigènes, et à constituer des mélanges gazeux utilisés par la marine pour dissimuler les navires à la vue de l'ennemi.

B. — *Gisements.*

a. — Rutile.

Parmi les nombreux gisements de rutile que j'ai signalés tome I, seuls paraissent avoir un intérêt industriel ceux constitués par les micaschistes de la région d'Ambatofinandrahana et notamment ceux des environs d'Itremo : des cristaux frustres (tome I, Pl. 8, fig. 1), de quelques centimètres de grosseur,

atteignant parfois la grosseur du poing, se trouvent à la surface du sol dans les éluvions, où ils peuvent être cueillis à la main, à la façon des cristaux de corindon des gisements analogues. Pendant la guerre, quelques tonnes de ce rutile ont été vendues pour la fabrication du chlorure de titane.

Il serait aisé d'extraire un tonnage important de ce minéral, s'il trouvait acheteur.

b. — Fers titanés.

La colonie renferme des réserves assez importantes en fers titanés qui se trouvent dans deux types de gisements différents et qui appartiennent à des types minéralogiques distincts.

α. **Crichtonite et perthite de magnétite et de crichtonite.** — Peu avant la guerre, le Service des Mines a fait prospecter par M. Auclair un gisement que celui-ci a jugé considérable ; il se trouve dans la vallée de la Vangoa, affluent de droite du Mahajilo à une trentaine de kilomètres de Miandrivazo. Sur une surface mesurant environ 4 kilomètres de l'Est à l'Ouest et 6 kilomètres du Nord au Sud, le sol est jonché de fragments et de blocs, atteignant jusqu'à 50 centimètres d'arête, d'un minerai fort complexe, d'après les échantillons que je dois au Service des Mines.

Je n'ai pu obtenir aucune gangue, mais la nature de quelques minéraux englobés dans ce minerai me fait penser qu'il s'agit d'inclusions dans des gabbros ou dans des amphibolites résultant de leur transformation.

Ce minéral est donc complexe, mais cette complexité n'apparaît pas toujours immédiatement à l'œil nu ; il suffit de maintenir pendant quelques minutes les échantillons dans l'acide chlorhydrique chaud pour voir apparaître deux types qui sont tantôt distincts et tantôt réunis dans le même bloc.

1° Dans certains d'entre eux, le minerai est essentiellement constitué par de la crichtonite, englobant de petits grains de magnétite disposés sans régularité : leur présence rend l'ensemble plus ou moins magnétique. Ce minéral forme des masses assez fragiles dans lesquelles apparaissent des plans de séparation basiques. Ceux-ci donnent des surfaces extrêmement gondolées, dues à des déformations mécaniques qui peuvent être mises en évidence par l'examen de plaques taillées perpendiculairement à ces plans de décollement. Grâce à ceux-ci, on constate alors que la masse est craquelée et divisée en fragments qui sont un peu déviés de leur position originelle. Si l'on maintient la poudre du minerai dans l'acide chlorhydrique froid pendant quelque temps, la magnétite se dissout ; elle n'est pas titanifère. Le résidu non magnétique est constitué par de la crichtonite presque pure ; c'est elle dont l'analyse a été donnée tome I, page 263 : elle titre 51 pour 100 de TiO^2.

2° Le second type est constitué par des associations perthitiques de crichtonite et de magnétite construites suivant le mode décrit tome I, page 266. Elles déterminent dans l'assemblage des plans de séparation parallèles aux faces octaédriques de la magnétite. La planche 8 représente des sections de ces assemblages mis en évidence par une attaque à l'acide chlorhydrique dans des sections artificielles, respectivement parallèles à *p* (100), c'est-à-dire perpendiculaires à un axe quaternaire (*fig.* 2 et 4) et à a^1 (111) (*fig.* 3 et 5), c'est-à-dire perpendiculaires à un axe ternaire de l'assemblage. On voit sur ces figures qu'en outre des lames de crichtonite plus ou moins abondantes et régulièrement orientées, il existe des grains du même minéral, ne présentant aucune orientation géométrique par rapport à l'ensemble.

Je n'ai eu à ma disposition que quelques kilogrammes de ce minerai ; le premier type y prédominait, mais je ne saurais en tirer de conclusions basées sur une aussi faible expérience ; il n'en est pas moins certain que l'on doit s'attendre à de très grandes variations dans la teneur en titane dont la limite maximum se trouve près de 51,41 pour 100 (Cf. tome I, p. 263).

β. **Perthite de crichtonite et d'hématite.** — Le second type de gisement a été aussi prospecté par le Service des Mines ; il se trouve dans le Sud de l'île. A 43 kilomètres au Nord-Ouest d'Itrongay et à Androngovato, entre Itrongay et Sahaninoka, le sol, constitué par des leptynites, est couvert de blocs d'un minerai à cassure coccolitique, décrit tome I, page 264 et qui est constitué par des groupements perthitiques d'hématite et de crichtonite (Tome I, Pl. 10, fig. 11 et 13) ; un échantillon m'a fourni 20 pour 100 de TiO^2 ; par le choc, ce minerai se débite en petits solides polyédriques ayant de quelques millimètres à 1 centimètre de diamètre.

Cette texture coccolitique n'est pas liée à ces associations perthitiques, car je connais un minerai provenant du Nord-Ouest de Vangaindrano qui ne le présente pas : il a une cassure compacte.

Enfin, on m'a signalé au Nord-Ouest de Foulpointe l'existence dans les gneiss (?) d'un filon d'ilménite à 40 pour 100 de TiO^2, mais je n'ai pu en voir d'échantillons.

C. — *Production.*

Aucun travail d'exploitation n'a été fait jusqu'ici sur ces divers gisements ; quelques tonnes seulement d'échantillons en ont été exportées (4 406 kilogrammes en 1913 ; 107 kilogrammes en 1921).

VII. — CHROME

A. — *Usages.*

La chromite est utilisée pour la fabrication du *ferrochrome* et comme produit réfractaire.

Pour le ferrochrome, dans les conditions normales[1], seul est acheté pour cet usage le minerai ayant une teneur garantie de 50 pour 100 de Cr^2O^3 (Nouvelle Calédonie, Rhodésie) ; une prime est accordée pour les unités en plus, de 50 pour 100 et une diminution imposée pour les unités en moins. Le minerai ne doit pas avoir plus de 20 pour 100 de fer ; une teneur supérieure le déprécie.

Pour l'usage réfractaire (soles de hauts fourneaux), le minerai est acheté sur une teneur garantie de 40 pour 100, avec une teneur minimum de 38 pour 100 ; l'état physique du minerai a une grande importance, car il est difficilement concassable ; s'il se présente à l'état menu, il peut être utilisé directement sous forme de briquettes, ce qui est préférable à l'emploi à l'état de moellons, auquel on est réduit si le minéral se trouve en blocs.

B. — *Gisements.*

Si j'excepte un échantillon provenant de la région de Tsaratanana et sur le gisement duquel je n'ai pas de renseignements, je n'ai à signaler que deux gisements de fer chromé. Le premier existe dans la région d'Ankararano, entre Farafangana et Vangaindrano. Il n'a pas été prospecté d'une façon complète. Suivant les renseignements du Service des Mines, le minerai y serait abondant, en blocs épars à la surface du sol. D'après l'analyse donnée tome I, page 328, ce minerai, qui constitue ce que j'ai appelé la *chromohercynite*, renferme environ 39 pour 100 de Cr^2O^3 et se trouve par suite à l'extrême limite pour l'emploi comme réfractaire.

Je viens de recevoir du Service des Mines un échantillon recueilli près d'Ambodirafia, à 300 mètres de l'ancien village d'Ambodibonara sur la rivière Sanisony : il renferme 46,28 pour 100 de Cr^2O^3 ; une analyse complète sera donnée dans l'*Appendice*. Je n'ai pas de renseignements sur l'importance du gisement.

1. Pendant la guerre, des minerais de Grèce ne titrant que 38 à 40 pour 100 de Cr^2O^3 ont été traités au four électrique, mais ils étaient pauvres en fer.

VIII. — ANTIMOINE, MOLYBDÈNE, MERCURE

Pour ces trois substances, je renvoie à ce qui a été dit dans le tome I, aux articles *stibine* (tome I, page 168), *molybdénite* (tome I, page 169), et *cinabre* (tome I, page 177).

L'existence du *cinabre* à Madagascar est des plus douteuse : je n'ai pu arriver à avoir de confirmation au sujet du filon de *stibine*, signalé jadis dans le Nord-Ouest.

Quant à la *molybdénite*, les gisements indiqués plus haut n'ont fourni jusqu'à présent que quelques kilogrammes de ce minéral.

CHAPITRE III

GEMMES, PIERRES D'ORNEMENTATION, PIERRES D'INDUSTRIE

Les gemmes ne constituent pas un groupe naturel de minéraux. Elles sont formées par des minéraux de composition diverse, mais qui possèdent, comme caractéristique commune, de réunir un certain nombre de qualités : transparence, couleur vive et franche, vif éclat [propriété dépendant de la valeur des indices de réfraction et de la dispersion (conséquence de la composition chimique et de la densité)], enfin, dureté assez grande pour que le minéral puisse prendre et garder un poli suffisant. Plus une espèce réunit à un haut degré ces diverses qualités et plus elle occupe une place élevée dans la hiérarchie des gemmes.

A ces propriétés intrinsèques, il faut ajouter la rareté et quelque chose d'extérieur à elles et de difficilement définissable, la fantaisie féminine, la mode.

La liste des gemmes n'est jamais close ; tel minéral qui, jusqu'alors, ne s'était pas rencontré à l'état limpide peut prendre place parmi elles si, possédant par ailleurs les autres qualités requises, il se trouve, à un moment donné, sous une forme parfaitement transparente et avec une belle couleur. Madagascar fournit une preuve éclatante de cette proposition, puisque, comme je le montrerai plus loin, l'étude de sa constitution minéralogique permet, pour la première fois, de décrire comme gemmes quatre minéraux : la *danburite,* la *kornerupine,* la *scapolite* et l'*orthose jaune d'or,* inconnus jusqu'alors sous cette forme précieuse.

Inversement, tel minéral qui a une grande valeur à l'état de pierre précieuse peut être employé pour un autre usage si, perdant cette limpidité caractéristique des gemmes, il a conservé quelque autre propriété utilisable, mais sous cette nouvelle forme, sa valeur est nécessairement beaucoup moindre. Le cas du corindon malgache est typique à cet égard. On le trouve sous la forme de saphir, en petits cristaux taillables comme gemmes quand ils sont transparents, et seulement recherchés dans l'industrie de la tréfilerie ou de la pivoterie lorsqu'ils sont

opaques ; sous cet aspect amoindri, ils valent encore plus d'un franc le gramme. Mais, en outre, il existe, et en très grande quantité, d'énormes cristaux du même minéral pouvant peser plusieurs kilogrammes. Opaques et gris, ils ne sont plus des gemmes ; pourvus de plans de séparation très faciles, ils ne peuvent plus être employés pour la tréfilerie ni pour la pivoterie, mais ils restent durs ; ils sont donc exploités pour la fabrication d'abrasifs. Sous cette forme, la valeur d'une tonne de mille kilogrammes de corindon n'atteint pas celle d'un carat de 200 milligrammes de rubis ou de saphir d'une belle couleur et d'une grande limpidité. Tel est aussi le cas, à Madagascar, du zircon qui, à l'état transparent, est une gemme et qui est actuellement recherché comme produit réfractaire lorsqu'il se trouve en énormes cristaux opaques. Tel est enfin le cas du béryl givré, déchet de l'égrisage des aigues-marines, qui est employé dans l'industrie chimique pour l'extraction de la glucine.

Enfin, à côté des pierres véritablement précieuses ou de ces pierres utilisées par diverses industries, il existe aussi des minéraux transparents, comme le *quartz hyalin*, ou *cristal de roche*, ou d'une belle couleur comme le *quartz rose*, ou encore l'*amazonite* verte qui sont recueillis pour l'ornementation ou pour la fabrication d'instruments de physique, etc.

Ce sont toutes ces modalités que peuvent prendre certains minéraux qui vont être étudiées ici. A ce point de vue pratique, Madagascar est tout à fait privilégiée [1] et il est vraisemblable qu'avec un peu d'ingéniosité, il sera possible de développer des recherches qui sont à leur début, mais qui fournissent déjà des ressources appréciables.

I. — GEMMES

A. — *Historique.*

Dès sa découverte, Madagascar a eu la réputation de renfermer des gemmes.

En 1547, le deuxième Français qui aborda dans l'île, le capitaine Jean Fonteneau, dit Alphonse-le-Saintongeois, déclare [302] qu'il s'y trouve « de la pierrerie ». Cent ans plus tard, en 1658, Flacourt parle [301] de topazes, d'aigues-marines, d'émeraudes, de rubis, de saphirs.

Jusqu'au milieu du siècle dernier, tous les voyageurs qui ont écrit sur Mada-

1. Cf. A. Lacroix [65, et 253 bis].

gascar ne se lassent pas d'y signaler l'abondance des gemmes, bien que plusieurs tentatives d'exploitation pratique, faites aux XVIIe et XVIIIe siècles par la Compagnie française des Indes, aient échoué lamentablement.

En 1663, Carpeau du Saussay signale « quantité de pierreries, topazes, aigues-marines et autres cristaux » : il en aurait rapporté en France où l'on n'en fit pas grand cas.

En 1666, François Martin, le fondateur de Pondichéry, écrit que « les passagers de la *Vierge de Bon-Port* ont emporté quantité de topazes, améthystes et autres pierres de couleur qu'on trouve à Fort-Dauphin ». « Ç'a été, ajoute-t-il, la grippe des Français qui étaient à Madagascar, mais, en France, on ne les a pas appréciées, car elles étaient trop tendres. »

En 1668, Souchu de Rennefort annonce [304] qu'il y a des rubis balais, des aigues-marines, des topazes, des opales, des améthystes, mais de Faye, que la Compagnie française des Indes a envoyé cette même année contrôler ses comptoirs de l'Océan Indien et qui a trouvé sous tous les rapports l'île de Madagascar très inférieure à la réputation qu'on lui avait faite, écrit que « la Compagnie a été bien détrompée au sujet des pierreries dont on lui avait promis monts et merveilles et dont, aux Indes, on n'a pas donné un sol du millier des topazes et améthystes de la rivière d'Itapère [Fort-Dauphin] ».

Malgré ces premiers essais peu encourageants, en 1769, le gouverneur de Fort-Dauphin, de Mondevergue, envoya à la Compagnie un lot de pierres précieuses sur lesquelles il fondait, bien à tort, de grandes espérances et qui ont été en réalité reconnues sans valeur.

En 1786, Lassale dit que, près du cap Bellone, à la première cascade de la Mananara (à l'entrée de la baie d'Antongil), il y a beaucoup de pierres précieuses, surtout jaunes et, en 1808, Barthélemy Hugon écrit que « à 4 ou 5 lieues de Fort-Dauphin, au bas d'une cascade qu'on aperçoit de la mer, on trouve des pierres précieuses et que c'est de là que Flacourt en a rapporté autrefois de diverses sortes » ; il ajoute que « dans la vallée d'Ambolo, il y en a une si belle et si rare que les lapidaires n'ont pu la reconnaître et ont dit qu'elle était au-dessus de tout ce qui n'est pas diamant ».

Mon confrère, Alfred Grandidier, qui a bien voulu appeler mon attention sur ces divers passages d'auteurs anciens, m'a donné l'assurance que, lors de ses explorations de Madagascar, en 1870, les Malgaches n'avaient aucune idée de ce qu'est une pierre précieuse. Ce qu'ils recherchaient comme ornement, comme parure, c'étaient de simples perles de verre de forme, de grosseur et de couleur différentes et des « haranga » ou fuseaux, tubes de cornaline, venant de l'Inde, ainsi que du corail.

Aujourd'hui, les prévisions des anciens voyageurs se trouvent réalisées, mais les gisements explorés et les minéraux exploités ne sont pas ceux qu'ils avaient cru avoir découverts. D'ailleurs, ils ne connaissaient guère que l'embouchure des fleuves de la côte orientale et les environs de Fort-Dauphin, là où les recherches modernes n'ont mis au jour jusqu'ici que du quartz et des grenats, pour la plupart impropres à tout usage économique.

On peut dire que la véritable découverte des minéraux qui font l'objet de ce chapitre date à peine de 30 ans. En 1891, A. Grandidier donnait au Muséum un beau cristal de rubellite, de petits saphirs et zircons provenant certainement du Vakin'Ankaratra, mais dont les gisements n'étaient pas connus alors ; ils ont été signalés par Jannettaz [23].

Les premiers échantillons rapportés en France, avec indication précise de gisement, m'ont été donnés par M. E. Gautier et je les ai décrits [29] en 1899. Peu après, Villiaume m'a remis des tourmalines recueillies par lui à l'Ouest du mont Bity et je n'ai cessé depuis lors d'appeler l'attention des voyageurs sur cette région qui, quelques années plus tard, mais pour peu d'années, allait devenir le centre de l'exploitation des gemmes dans la Grande Ile.

Je crois avoir été le premier à faire tailler d'une façon systématique des pierres précieuses de Madagascar, à la suite de l'exposition temporaire de tous les produits de la Grande Ile, faite au Muséum lors de l'expédition de conquête : c'étaient des cymophanes, des grenats, des corindons, des topazes en petits grains provenant des alluvions de la Belambo, que m'avait remis Suberbie. Plus tard, j'ai fait tailler une série de belles tourmalines jaunes et brunes trouvées parmi des minéraux recueillis par Garnier-Mouton, alors chef de la province de Betafo, sur l'ordre du général Gallieni qui avait bien voulu s'intéresser à mes recherches ; ces tourmalines étaient indiquées comme provenant de la région d'Ambohimanarivo (sans doute de Tsilaizina).

Peu après, l'Administration de la Colonie, s'étant préoccupée de cette question, fit venir de France un lapidaire, M. Villierme, qui, après s'être documenté dans les collections du Muséum, a fait une première prospection dont les résultats ont été signalés à l'Académie Malgache (1905 et 1909) par le capitaine Mouneyres [95] et par M. Dabren [4 et 5].

C'était la fin de la période héroïque de cette recherche : les prospections allaient bientôt se multiplier pour aboutir au riche développement actuel.

Les premières exploitations furent celles de la Société nantaise qui ouvrit les carrières d'Antandrokomby et celles de la vallée de la Sahatany pour l'extraction des rubellites et autres tourmalines, puis ce fut le tour des béryls dont la recherche est devenue l'une des principales préoccupations des prospecteurs.

Entre temps avaient été découverts les corindons rouges et bleus de l'Ankaratra, le triphane rose (kunzite) de la vallée de la Sahatany et d'Anjanabonoina, le béryl rose[1], la cordiérite, diverses variétés de grenats; plus récemment, j'ai moi-même appelé l'attention [64] sur la possibilité de tirer parti, comme gemme, de la topaze blanche, du zircon et enfin de minéraux plus rares: danburite, kornerupine orthose ferrifère, scapolite, diopside qui se rencontrent à Madagascar sous une forme hyaline inconnue jusqu'alors pour plusieurs d'entre eux.

En outre de mes travaux sur cette question, il y a lieu de citer le mémoire de MM. Duparc, Wunder et Sabot, sur certains des gisements des environs d'Antsirabe [10].

B. — *Mode de gisement.*

La caractéristique de Madagascar au point de vue des gemmes, c'est que celles-ci sont exploitées dans ou sur leur gisement originel et, à ce point de vue, la Grande Ile est à comparer à la Californie et à la côte atlantique des États-Unis (Maine, Connecticut, Caroline du Nord) dont j'ai été visiter les gisements pour les comparer à ceux qui font l'objet de cet article, ainsi qu'à certaines parties du Brésil (Salinas, Miñas Geraës), tandis qu'à Ceylan, qui fournit beaucoup de pierres analogues ou identiques à quelques-unes de celles de Madagascar, les gemmes ne sont rencontrées que dans les alluvions.

a) *Gisements en place.* — Si l'on excepte la cordiérite et quelques grenats qui gisent dans les schistes cristallins, les pierres précieuses malgaches connues en place font toutes partie des pegmatites granitiques.

La connaissance de ces roches étant d'un intérêt plus général que celui considéré dans ce chapitre, je donnerai la description de ces roches et de leurs gisements dans la Quatrième Partie de cet ouvrage, me contentant de rappeler ici, car je vais avoir besoin de cette notion, que les pegmatites gemmifères malgaches doivent être divisées en deux groupes, celui que j'appelle potassique et celui que j'appelle sodo-lithique.

Parfois ces pegmatites sont intactes aux affleurements et alors très résistantes: c'est le cas le plus rare, réalisé dans les gisements de rubellite d'Antandrokomby, d'Antsongombato, etc.

Plus souvent, la roche est altérée, très altérée même; c'est ce qui arrive, en

1. On a vu, tome I, page 547, qu'un échantillon de béryl rose provenant de Madagascar a été trouvé en 1886 par M. Damour, chez un lapidaire parisien [6].

particulier, dans la plupart des pegmatites potassiques à béryl bleu et vert, et cette altération, qui n'atteint pas les gemmes, est un élément important de la valeur économique des gisements.

b) *Éluvions*. — Presque tous les gisements malgaches ont été exploités tout d'abord, non pas dans la pegmatite absolument en place, mais sur des éluvions recouvrant celle-ci ou en étant peu éloignées. La découverte a lieu, en général, sur des points d'enrichissement d'origine mécanique et ce fait explique un préjugé que j'ai vu exprimer si fréquemment à Madagascar qu'il me paraît utile de chercher à le discuter.

Les prospecteurs assurent que la proportion des gemmes dans les pegmatites qu'ils exploitent diminue toujours en profondeur. Un tel fait, s'il était exact, serait inexplicable. Si l'on peut, en effet, comprendre les causes de la variation de composition minéralogique d'un filon métallifère avec la profondeur, il n'en est plus de même pour un filon de pegmatite dans lequel la situation actuelle, par rapport au niveau hydrostatique, n'a aucune signification au point de vue de la composition minéralogique originelle.

L'explication du fait très réel qui sert de point de départ à cette discussion est facile à donner : les exploitants, qui ne sont pas géologues, ne se rendent pas compte qu'après avoir débuté par des travaux sur les éluvions latéritisées, ils passent, sans s'en apercevoir, de cette zone superficielle à la pegmatite altérée sous-jacente ; la différence de structure est souvent insensible pour un œil non exercé et j'ai pu le constater moi-même dans les travaux d'Anjanabonoina que j'ai examinés spécialement à ce point de vue. La caractéristique la plus frappante réside dans l'absence, au milieu de la pegmatite altérée, des fragments de grès enduits de psilomélane qui se rencontrent dans les éluvions. Une fois que les travaux ont traversé la zone éluvionnaire, où se sont concentrées les pierres, grâce à la destruction, due à des actions séculaires, d'un cube souvent considérable de pegmatite, ils pénètrent dans la roche en place et dans celle-ci, naturellement, les pierres utilisables sont distribuées en quantité toujours beaucoup plus faible.

Une autre cause d'appauvrissement tient à l'irrégularité de la distribution des gemmes dans le corps même de la pegmatite et aussi, pour le cas des pegmatites sodo-lithiques, à celle des cryptes contenant les cristaux transparents. Ainsi, par exemple, à Maharitra, la découverte du gisement a été faite sur des cryptes qui n'ont plus été retrouvées à quelques mètres de la surface ; mais c'était là une circonstance purement fortuite.

L'importance des éluvions est très grande : ainsi, certains minéraux tels que

l'orthose jaune, la kornerupine, le zircon ne sont recueillis actuellement qu'au milieu d'elles, bien que, pour l'orthose jaune et le zircon tout au moins, le gisement en place soit maintenant connu à proximité.

c) *Alluvions.* — A Madagascar, les gemmes des pegmatites ne sont que rarement recherchées dans les alluvions. Je ne citerai guère à cet égard que les grosses topazes roulées d'Ifempina et certains grenats.

Par contre, une partie des grenats (almandin-pyrope) qui proviennent des gneiss sont recueillis dans des rivières ; il en est de même pour les petits cristaux de corindon bleu recherchés dans les alluvions basaltiques.

C. — *Mode d'exploitation.*

Là où les gemmes sont extraites de la roche intacte, celle-ci est abattue à l'aide de barres à mine pointues aux extrémités et dont les ouvriers se servent comme de leviers, après les avoir enfoncées de 15 à 20 centimètres dans la pegmatite. Celle-ci, une fois désagrégée, est jetée à la pelle dans un courant d'eau qui entraîne les matières légères ; les gemmes et les autres matières lourdes sont enfin recueillies à la main. On évite le plus possible l'emploi des explosifs, car ceux-ci ont l'inconvénient de briser ou de fissurer les gemmes et de les rendre souvent inutilisables à plusieurs mètres au delà du point où s'est produite l'explosion. Cette particularité fait que beaucoup de gisements actuellement exploités en affleurement deviendront inutilisables le jour où sera atteinte la roche fraîche ; elle a fait déjà abandonner plusieurs carrières, jadis fructueuses. Les cristaux ou les fragments, une fois triés, sont dégrossis sur place, puis remis au chef du chantier qui procède, dans le centre d'exploitation (toby), à l'égrisage, à moins qu'ils ne soient transportés plus loin, dans une ville où se fait d'une façon plus soignée cette opération préalable à l'expédition des gemmes en Europe. La taxe que les pierres paient à la sortie de la Colonie étant basée sur le poids de la matière brute, il y a un avantage évident à n'exporter que strictement ce qui pourra être complètement utilisé pour la taille.

Dans les gisements où la pegmatite est décomposée, comme aussi dans les éluvions, la roche meuble est débitée à la pelle et, après une cueillette à la main des grosses pierres, le tout venant est lavé à la batée ou autrement, puis un triage à la main est effectué sur le résidu lourd.

Quant aux gisements alluvionnaires, ils sont traités par lavage, à l'aide des mêmes procédés que les alluvions aurifères. Tel est en particulier le cas pour les

alluvions basaltiques de l'Ankaratra, fournissant les corindons. D'ailleurs, dans les régions granitiques et gneissiques (Ifempina par exemple), plusieurs des gisements de ce genre fournissant occasionnellement des gemmes sont en même temps des placers aurifères et les pierres précieuses n'y sont qu'un sous-produit de l'extraction de l'or.

D. — *Valeur des gemmes malgaches.*

Il eût été intéressant de pouvoir donner ici des indications sur les prix qu'atteignent les pierres de Madagascar et mieux encore sur ceux des pierres provenant de chacun des divers gisements connus, mais une semblable estimation se heurte à des difficultés insurmontables.

La valeur d'une gemme est fonction de très nombreux facteurs : limpidité, couleur et intensité de celle-ci, poids de la pierre, rareté de la matière et de sa nuance. Enfin, il intervient aussi des facteurs extérieurs, tels que la mode, la fantaisie de l'acheteur et surtout la situation économique du moment. Cette valeur est, par suite, sujette à des fluctuations considérables et la Grande Guerre, en particulier, a complètement déséquilibré le marché des gemmes.

En ce qui concerne la provenance d'une pierre donnée, les difficultés ne sont pas moindres; à Madagascar, un même producteur vend souvent des pierres achetées à des indigènes et dont l'origine est incertaine; en tous cas, s'il exploite plusieurs gisements, il ne s'astreint pas à expédier en Europe, d'une façon indépendante, les produits extraits de chacun d'entre eux.

Une fois hors de l'île, la complication augmente encore. Par suite de ce travers malheureux des Français d'admirer tout ce qui vient de l'étranger et de dénigrer tout ce qui se trouve chez eux, et pour d'autres causes encore, en 1914, le gros de la production gemmifère de Madagascar allait en Allemagne, d'où un grand nombre de pierres revenaient, taillées, sur le marché de Paris. Pour des raisons faciles à percevoir, les pierres de premier choix étaient écoulées comme originaires du Brésil, alors que les médiocres, recueillies à Madagascar *ou ailleurs*, étaient données comme de provenance malgache; ainsi était fortifié le bon renom des gemmes du Brésil dont le commerce était surtout entre des mains allemandes et se trouvaient décriés les produits de notre Colonie, ce qui éliminait la concurrence nationale sur le marché de celle-ci...

Il est plaisant de noter cependant un minuscule incident qui a été favorable à notre commerce. Lorsque, quelques années avant la guerre, fut décrite en

Allemagne, sous le nom d'*heliodore*[1], une variété de béryl jaune provenant de l'Afrique occidentale allemande et à laquelle l'empereur Guillaume fit une certaine réclame, la production de la colonie germanique étant insuffisante pour satisfaire à la demande, tout le stock de béryls jaunes de Madagascar se trouvant à Paris et qui, jusqu'alors, ne s'écoulait que péniblement, fut brusquement acheté par des négociants allemands et vendu de l'autre côté du Rhin comme gemmes d'une colonie du Reich.

Les quelques indications de valeur données ci-contre ne doivent donc être considérées que comme de grossières approximations. J'ai cherché à connaître le prix payé pour les pierres vendues en gros, par lots de 500 grammes et plus, je ne tiendrai compte plus loin que de la valeur d'avant-guerre. Je donne en outre quelques indications recueillies sur le prix *maximum* payé pour des pierres vendues au détail. Il y a nécessairement entre ces deux ordres de valeur un écart considérable. Dès qu'une pierre est un peu grosse et d'une qualité supérieure, tous les facteurs énumérés plus haut jouent dans le même sens pour faire monter son prix. Il faut tenir compte en outre, de ce que la taille fait perdre jusqu'aux trois quarts de son poids à la pierre brute et que son prix s'ajoute à celui de la matière.

E. — *Description des gemmes.*

a. — Béryls.

A Madagascar, les béryls sont les gemmes les plus recherchées et celles qui constituent la plus grande partie de la production.

Les béryls les plus légers se rencontrent surtout dans les pegmatites potassiques : ils constituent des prismes hexagonaux très allongés pouvant atteindre plus d'un mètre de longueur. Ils sont presque toujours extrêmement givrés, en partie opaques, et le plus souvent l'égrisage ne fournit qu'un pourcentage très faible de pierres utilisables. M. Krafft m'a signalé cependant qu'à Ankazotsifantatra, il a rencontré des cristaux purs de 25 à 30 kilogrammes, dans lesquels l'égrisage a fourni jusqu'à 25 pour 100 de matière utilisable ; un cristal de Bevony, mesurant $1^{m},70 \times 0^{m},35$, a donné 30 kilogrammes de pierres égrisées d'un beau

1. D'après E. Kaiser, l'héliodore se distingue du béryl normal : 1° par sa luminescence sous l'action des rayons cathodiques ; 2° par sa couleur jaune à la lumière du jour et verte à la lumière artificielle (Cf. *Die Woche*, 1913, p. 772).

bleu de ciel. M. Vieille-Kœchlin m'a montré jadis un prisme provenant de Tongafeno et mesurant 20 centimètres × 10 centimètres dont il a tiré pour 15 000 francs de pierres égrisées.

Ces béryls ont toutes les couleurs possibles, mais le rose est exceptionnel.

Malgré les énormes dimensions que présentent parfois les cristaux de ce type de béryl, je n'ai pas connaissance de pierres pesant plus de 56 carats. La plus grosse pierre bleue homogène trouvée à Ampangabe pesait 30 grammes.

Le plus gros béryl rose recueilli à Tsilaizina pesait 130 grammes.

Les béryls les plus denses se trouvent exclusivement dans les pegmatites sodolithiques; à peu d'exception près, ils sont roses. Le gisement de Maharitra étant aujourd'hui épuisé, toutes les pierres mises dans le commerce proviennent des éluvions d'Anjanabonoina; ce gisement ne fournit que des fragments de cristaux, qui, au lieu d'être allongés suivant l'axe vertical, sont aplatis suivant la base. Ils atteignent rarement un décimètre de plus grande dimension; par contre, ils présentent fréquemment des portions homogènes et parfaitement limpides de plus grandes dimensions que les béryls légers, certaines d'entre elles pesant jusqu'à 300 grammes. Le British Muséum possède une magnifique pierre taillée pesant 120 grammes (600 carats), sa densité est de 2,835; le Muséum d'histoire naturelle de New-York en renferme une de 57 carats et demi (densité : 2,827); elles me paraissent provenir l'une et l'autre de ce gisement.

Je donne plus loin la liste des couleurs que j'ai observées dans les béryls malgaches, avec, pour chacune d'entre elles, l'indication de *quelques gisements caractéristiques*. Il est impossible de donner une liste complète à cet égard et cela pour différentes raisons, parmi lesquelles il faut mettre en première ligne la résistance que beaucoup de prospecteurs manifestent à fournir des renseignements précis sur ce sujet.

D'ailleurs, une semblable énumération n'aurait pas d'intérêt pratique, la plus grande partie des gisements n'étant exploités que d'une façon éphémère. Lors de mon voyage à Madagascar en 1911, les gisements fournissant la presque totalité de la production étaient ceux des environs d'Antsirabe et de Betafo (notamment Tongafeno et Ampangabe). Actuellement, le grand centre de la production s'est déplacé vers le Nord, il est constitué par les régions d'Ankazobe et de Tsaratanana.

Le Service des Mines m'a communiqué la liste suivante des principaux gisements[1] exploités en 1920, avec leur production déclarée :

1. Pour leur position exacte, voir au chapitre des pegmatites et à l'index géographique.

1920

DISTRICTS		kgr.	
Ankazobe	Mont Amparafara	8,700	
	Bevony	7,419	
	Mont Antsatrana	11,867	
	Marijao	28,102	
	Mont Amboniatsimonivolo	12,420	
	Mont Miakanjovato	8,825	
	Antaniditra	3,790	
	Amboasaribe	6,400	
Tsaratanana	Ambodifiakarana	2,505	
	Antsampandrano	4,207	
	Anahidrano	85	
	C^nt^ riv. Analamangatsiaka et Manasomby	10,572	
	Ampananganan'i Tsilavirana	3,600	
	Mont Antevatapaka	7,100	
	Soarano	22,390	
	Mont Bepia	8,600	
	Maropapango	1,800	
	Andasibe	2,500	
	Androfia	1,500	
	Tampoketsa	1,000	
	Andakana	23,788	
	Mahatsinjo	1,656	
	Ambaliha	14,765	
	Ampandrano	10,215	
	Mahabe	3,659	
	Ambongolava	4,157	
Port Bergé	Mont Ambatoharanana	6,220	
	Mont Ambohimirahavavy	5,075	
Maevatanana	Besakay	2,500	
Betafo	Anjanabonoina	56,327	(Béryl rose).
	Mont Bity	1,500	
	Ambohimilanja	47,111	
	Morafeno	3,250	
	Fenoarivo	2,031	
	Amboakazo	1,825	
	Mont Samizaza	3,745	
Antsirabe	Tsilaizina	58,200	(Béryl rose).
	Mont Tsilaizina	10,820 43,250	
	Fiherenana	1,950	
	Sahanivotry	31,771	
Ambatofinandrahana	Fiherenana	31,984	
Miandrivazo	Analaidirana	5,599	
Fianarantsoa	Mont Vahambe	12,864	
	Ambatolahy	12,319	
	Sahabe	27,846	
	Analamarivo	18,080	
	Mahaseza	15,700	
	Riv. Mananantanana	4,600	

Dans la liste ci-dessous, les noms de localités précédés d'un * sont ceux dont le béryl appartient à la variété lourde.

Incolore. — Ampangabe, *Anjanabonoina.

Jaune[1]. — Depuis le jaune paille, jusqu'au jaune d'or. Couleur assez répandue : Ampangabe, Sahanivotry, région d'Ankazobe.

Bleu de ciel, Bleu clair. — C'est la variété la plus estimée : région d'Ankazobe, Ampangabe, Ambatolampy, Masompenoarivo, région d'Ikalamavony, Betsiriry, etc.

Bleu foncé avec teinte noire. — Cette couleur est réalisée dans de belles pierres très spéciales provenant surtout de Tongafeno; elles ne sont jamais de grande taille (9 carats comme maximum). On a trouvé des variétés analogues, sinon identiques, à Antaboaka et à Fefena. Ce dernier gisement a fourni des pierres zonées dans lesquelles le bleu est parfois mélangé d'un peu de vert.

Bleu vert (aigue-marine). — Cette variété est très commune. Ampangabe, Betsiriry, région d'Ankazobe, etc.

Vert d'eau (aigue-marine) : Ampangabe, Jaiky, Ifempina (alluvions), Betsiriry, Ankazobe.

Vert asperge. — Sahanivotry, Antaboaka, Ifempina (alluvions).

Vert un peu olive (rappelant la couleur de la kornerupine). — Ouest de Laondany (variété peu commune).

Vert émeraude. — La véritable émeraude n'a pas été rencontrée à Madagascar, mais on a trouvé exceptionnellement à Tongafeno des cristaux bleus, présentant une zone extérieure d'un vert rappelant l'émeraude. Ils sont restés une curiosité minéralogique.

Rose. — Les béryls roses doivent être considérés comme une spécialité de Madagascar, les béryls césifères rosâtres de San-Diego en Californie ne pouvant leur être comparés que de fort loin. Les variétés d'un rose fleur de pêcher ou d'un rose saumon un peu foncé sont souvent vendues sous le nom de *morganite*, proposé par M. Geo. F. Kunz[2]; les variétés claires conservent en joaillerie l'appellation de béryl rose. Cette dénomination correspond à une couleur et non à une composition spéciale; les uns appartenant au type le plus léger (Tsilaizina, Vohidahy) et les autres au type le plus lourd (*Maharitra, *Anjanabonoina). Ces béryls présentent de nombreuses nuances, depuis le rose fleur de pêcher d'une fraîcheur incomparable (Tsilaizina, Ampangabe, *Vohidahy, Tsaravovonana), jusqu'au

1. Il m'a été soumis, à diverses reprises, des lots de béryls égrisés renfermant des pierres jaunes ou vertes de même couleur que le béryl, mais faciles à reconnaître pour de l'apatite, à cause de leur faible dureté (5) et de leur forte densité (3,19).

2. *Amer. J. of Sc.*, t. XXXI, 1911, p. 31.

rose un peu carmin et rose presque incolore. Dans les différentes localités fournissant cette variété de béryl, on trouve parfois des pierres d'un rose jaunâtre dont la coloration paraît due à une oxydation.

Les béryls césifères doivent à leur plus forte réfringence un éclat particulièrement vif, surtout à la lumière artificielle.

Valeur. — Les béryls d'un bleu foncé d'abord, puis les béryls d'un rose intense sont ceux qui possèdent la plus grande valeur.

En 1916, une maison de Paris achetait les lots de 500 grammes au moins de pierres brutes égrisées, bleu de ciel, rose vif, pesant plus de 2 grammes, à raison de 4 à 5 francs le gramme et de 1 franc seulement quand le poids des pierres tombait au-dessous de 1 gramme. Les pierres d'un bleu plus clair ont une valeur plus faible qui s'abaisse à 1 franc et 0 fr. 20 le gramme, à mesure de l'affaiblissement de la teinte. Quant aux pierres plus grosses, elles n'ont pas de cours et atteignent des prix souvent fort élevés suivant leur beauté et suivant la demande.

Les variétés de couleur jaune ont une valeur moindre encore (1 fr. 50 le gramme pour les grosses pierres). Le béryl rose clair ne dépasse guère 2 fr. 50 le gramme pour les pierres de 2 grammes.

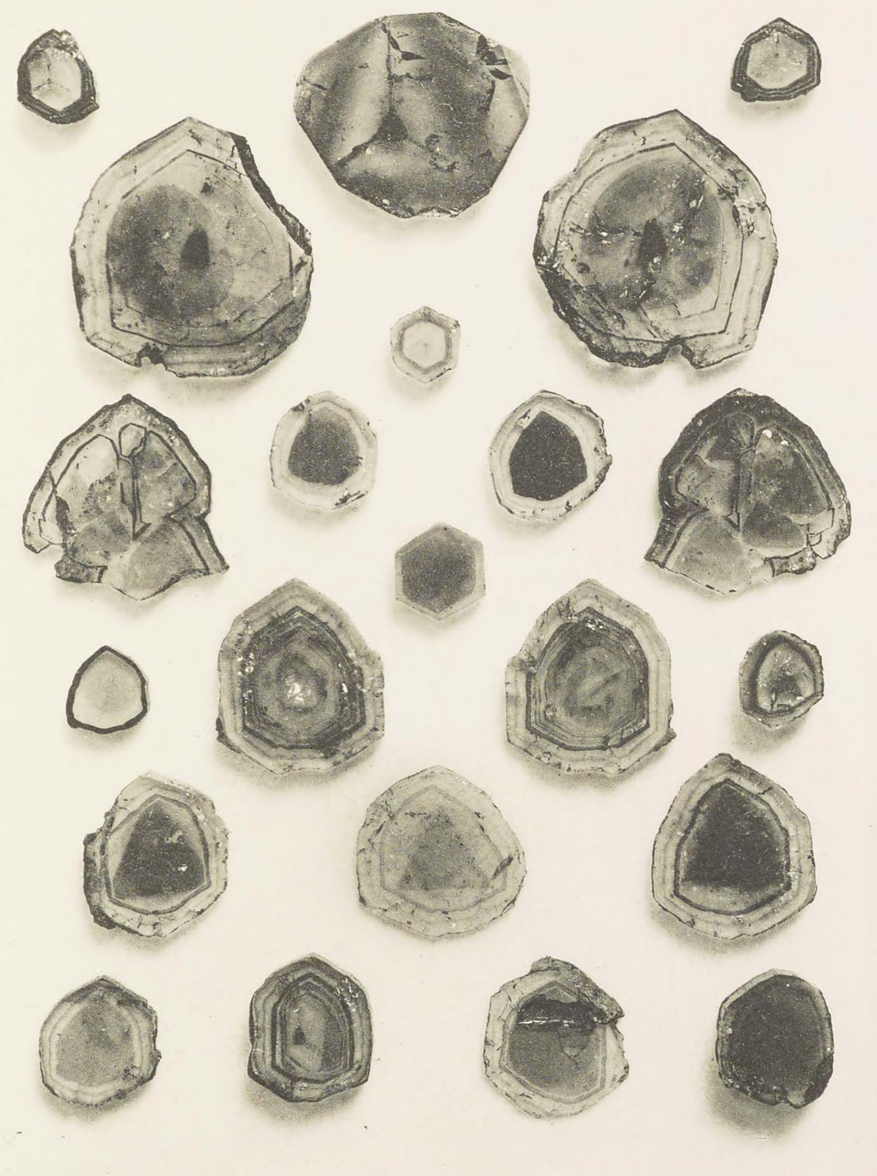
Une fois taillées, ces pierres se vendent à partir de 10 à 15 francs le carat pour les pierres faiblement colorées, mais celles qui possèdent un très beau bleu de ciel atteignent jusqu'à 150 francs le carat; celles de Tongafeno, jusqu'à 80 francs; certains béryls roses très foncés ont été payés plus de 100 francs le carat; les verts, 40 francs.

Usage dans l'ornementation. — Le béryl se rencontre souvent en gros cristaux translucides ou givrés d'une belle couleur bleue, verte ou rose et qui pourraient, à défaut de gemme, être utilisés pour la fabrication de bibelots d'art.

C'est ainsi que j'ai vu de jolies petites boîtes hexagonales taillées dans de gros cristaux de béryl malgache vert ou bleu.

b. — Tourmalines.

Les premiers gisements de tourmaline lithique exploités, ceux d'Antsongombato, d'Antandrokomby et ceux de la vallée de la Sahatany ont fourni de fort belles pierres, mais ils sont épuisés; une tentative récente de réouverture des carrières de Maharitra et d'Ampantsikahitra faite par M. Dropsy, n'a pas donné de résultats satisfaisants. Le seul gisement actuellement exploité consiste dans les éluvions d'Anjanabonoina; c'est celui qui a fourni les plus belles pierres.



Clichés Fallou. Imp. Catala frères. Paris.

Sections basiques de *tourmalines lithiques* polychromes ; Maharitra.

A. CHALLAMEL, ÉDITEUR

Voici les différentes couleurs que j'ai observées dans des pierres taillées, avec l'indication des gisements dont elles proviennent :

Rouge. — Cette variété (rubellite) est la plus précieuse ; elle fournit de magnifiques pierres variant du rouge sang au rouge vineux parfois teinté de violet : Antandrokomby, Ampantsikahitra, Marirano, Antsongombato, Anjanabonoina. Certaines de ces rubellites ressemblent au rubis.

Rose. — L'atténuation de l'intensité de la couleur conduit toutes les variétés précédentes à des variétés nombreuses de rose, de plus en plus pâles ; je citerai en particulier le rose vineux, le rose saumon et certaines variétés de rose fleur de pêcher rappelant la teinte des béryls des mêmes gisements et aussi la topaze brûlée. Ce sont ces types qui prédominaient à Maharitra ; on les trouve aussi à Tsilaizina, à Anjanabonoina.

Violet améthyste. — Anjanabonoina.

Jaune d'or à jaune citron. — Ces variétés de tourmalines sont les plus riches en manganèse et les plus denses et aussi parmi les plus caractéristiques de Madagascar ; elles se trouvent surtout à Tsilaizina, plus rarement à Maharitra. Les plus beaux échantillons que j'ai vus sont constitués par les premiers que j'ai reçus en 1898, avec l'indication imprécise d'Ambohimanarivo, localité située à l'Est de Tsilaizina, sur le revers oriental du mont Bity. Certaines variétés ressemblent aux tourmalines désignées dans le commerce sous le nom de « péridot ou chrysolite de Ceylan » ; elles passent à des types d'un jaune paille et plus rarement presque incolores et surtout aux variétés brunes ; les variétés d'un jaune vif sont rares à Anjanabonoina.

Brun. — A Tsilaizina se trouvent des tourmalines d'un brun foncé, à tonalité très chaude. Des pierres de bruns différents : brun café, brun enfumé, brun orangé se rencontrent à Anjanabonoina.

Gris brun ou enfumé. — Maharitra, Anjanabonoina.

Vert poireau, vert olive. — Ces couleurs foncées sont très fréquentes, mais ne fournissent que des pierres de médiocre valeur : Maharitra, Anjanabonoina, Vohitrakanga ; elles présentent une grande analogie d'aspect avec celles du Brésil.

Vert pâle. — A Vohitrakanga, j'ai trouvé une variété de tourmaline dont la couleur un peu olivâtre rappelle d'une façon extraordinaire celle de la kornerupine et de certains béryls.

Vert d'herbe. — Toute une gamme de verts clairs et particulièrement de vert pomme et de vert d'herbe, rappelant ceux de certaines tourmalines du Maine, ont été trouvés à Anjanabonoina, à Maharitra et à Ankitsikitsika : dans ces deux dernières localités, cette couleur a été observée dans des cristaux mi-verts mi-rouges. A Anjanabonoina, ces tourmalines vertes passent à des types incolores.

Bleu. — L'indicolite est, parmi les variétés de tourmalines, la moins fréquente de Madagascar; les variétés que j'ai observées proviennent toutes de Maharitra. Lorsqu'elles sont de teinte claire, elles inclinent souvent vers le vert. Quand leur bleu est très foncé, elles n'ont pas de valeur commerciale. A Anjanabonoina, il existe une variété de teinte rappelant celle de certains béryls.

Incolore. — Madagascar est probablement le pays qui fournit les plus belles tourmalines incolores, d'une limpidité parfaite, mais elles y sont rares ; elles ont souvent une légère teinte rosée, verte ou violette : Maharitra, Anjanabonoina.

Telle est l'énumération des couleurs homogènes que fournissent les gisements malgaches, mais il me reste à signaler l'utilisation pratique possible des nombreuses modalités d'associations de couleurs différentes dans un même cristal, associations qui sont si fréquentes à Madagascar, et qui pourraient être employées par la joaillerie à cause des contrastes, souvent fort harmonieux, qu'elles présentent. Il serait possible aussi d'utiliser les variétés fibreuses qui, taillées en cabochon, donnent des pierres à reflet d'*œil de chat,* comme celles qui sont tirées des gisements de Californie.

Valeur. — Avant la guerre, la rubellite d'un beau rouge, égrisée en petits fragments d'au moins 2 grammes, par lots de 500 grammes et au-dessus, se vendait de 2 à 3 francs le gramme et seulement 0 fr. 50 pour les pierres plus petites ; par contre, les grosses pierres acquièrent rapidement des valeurs plus élevées. La valeur s'abaisse pour les teintes plus claires.

Une fois taillée, la rubellite de couleur foncée se vend de 20 à 100 francs le carat; la tourmaline rose, de 6 à 40 francs; les jaunes et les brunes, de 5 à 30 francs; celles d'un vert clair, de 3 à 20 francs. La valeur des tourmalines vert foncé est moindre; 10 francs le carat.

Le gisement d'Anjanabonoina a fourni des pierres rouges atteignant 36 carats ; le Muséum de New-York possède même une magnifique rubellite de 40 carats 1/8 qui provient probablement de ce gisement.

Usage dans l'ornementation. — On a vu plus haut qu'à Anjanabonoina, la tourmaline lithique se rencontre en très gros cristaux homogènes de plusieurs kilogrammes qui ne possèdent pas une limpidité suffisante pour pouvoir être utilisés par la joaillerie. Mais, comme ils sont assez durs, qu'ils se polissent bien et qu'ils ont fréquemment une belle couleur, ils pourraient avec avantage être utilisés pour la fabrication de bibelots d'art. Les variations de couleur, souvent régulièrement distribuées, mériteraient de donner matière à l'inspiration et à la fantaisie des artistes.



Fig. 1.



Clichés A. Lacroix.

Fig. 2.

Toby d'Antsongombato (fig. 1); exploitation d'un filon de pegmatite gemmifère (fig. 2).

Usage dans l'optique. — Tout ce qui vient d'être dit concerne les tourmalines lithiques ; il serait possible aussi de tirer parti de quelques tourmalines ferrifères. Certaines variétés noires (Tongafeno, région de Fianarantsoa) sont suffisamment homogènes et possèdent un pouvoir absorbant assez intense pour qu'on puisse les utiliser en optique pour la fabrication de polariseurs.

c. — Triphane (Kunzite)[1].

Le triphane peut donner à Madagascar de fort belles pierres dont la couleur varie de l'incolore au jaune paille, au verdâtre[2] pâle et au rose lilas plus ou moins foncé. C'est cette dernière variété qui a reçu le nom de *kunzite,* en l'honneur de M. Geo. F. Kunz ; elle possède la propriété de prendre une belle fluorescence rose orangé quand elle a été soumise aux rayons cathodiques, aux rayons ultra-violets ou à ceux du radium. Par exposition au rayonnement du radium, la kunzite se décolore tout d'abord, puis se colore en vert ; par exposition à la lumière, ce changement de coloration est reversible ; cette observation, faite tout d'abord par Dölter sur la kunzite de Californie, peut être répétée sur celle d'Anjanabonoina et de Maharitra.

Grâce à sa forte réfringence et à sa limpidité parfaite, la kunzite constitue une gemme fort remarquable, mais sa taille est rendue malaisée par la grande facilité de ses clivages prismatiques ; aussi, seules les variétés d'un beau lilas sont-elles utilisées. Comme la couleur n'est jamais très foncée, les pierres doivent avoir d'assez grandes dimensions pour être d'un bel effet ; sous une semblable épaisseur, le polychroïsme étant assez intense, l'orientation de la table a une certaine importance ; pour que la pierre présente son maximum de coloration, la table doit être taillée parallèlement à un plan g^1 du cristal.

Avant la découverte de la kunzite à Maharitra, ce minéral n'était connu qu'à Pala en Californie. Depuis l'épuisement des gisements de la Sahatany, le seul gisement malgache qui fournisse cette pierre est Anjanabonoina.

Valeur. — La kunzite de Madagascar taillée s'est vendue jusqu'à 100 francs le carat. La plus belle pierre que j'ai vue pèse 77 carats, 5.

d. — Grenats.

A Madagascar, deux grenats sont recherchés comme gemmes, la *spessartite* et l'*almandin-pyrope* (Cf. tome I, p. 461) ; ils ont une valeur fort inégale.

1. Cf. tome I, p. 518.
2. L'indication fournie par Max Bauer (*Edelsteinkunde,* 1909, p. 559) de l'existence à Madagascar de la variété de triphane vert émeraude (*hiddenite*) est inexacte.

α. — **Spessartite.** — Ce grenat est très fréquent dans les pegmatites sodolithiques ; il s'y trouve en gros cristaux, mais ceux-ci sont toujours extrêmement fendillés, de telle sorte qu'il est difficile d'en extraire des pierres de grande taille ; celles pesant plus de deux carats, une fois taillées, sont très rares ; elles ont été vendues jusqu'à 120 francs le carat, comme pierres de collection[1].

Le gisement principal est Tsilaizina et ses environs ; il fournit des échantillons d'une couleur jaune orangé d'un ton très chaud rappelant certaines spessartites de Californie. A Anjanabonoina, il existe une variété tirant sur le brun rouge qui est moins jolie.

β. — **Almandin-pyrope.** — Les grenats rouges malgaches, transparents et taillables, que j'ai examinés, appartiennent au groupe almandin-pyrope et plus rarement à l'almandin. On peut y distinguer deux variétés qui, toutes deux, proviennent des gneiss et des amphibolites feldspathiques ; elles sont surtout recueillies dans les éluvions et les alluvions et se trouvent souvent associées dans une même localité.

La variété la plus dense est d'un rouge grenat foncé, elle appartient soit à l'almandin-pyrope, soit à l'almandin ; l'autre, de densité moins élevée, est d'un rouge violet tirant sur le rose (grenat syrien) qui ressemble à l'améthyste orientale et aussi au grenat de la Caroline du Nord appelé *rhodolite* ; c'est une variété d'almandin-pyrope. Le poids des échantillons homogènes transparents dépasse rarement 20 grammes.

Cette variété de grenat fournit de fort jolies pierres, néanmoins sa valeur est moindre que celle des variétés foncées qui, une fois taillées, se sont vendues jusqu'à 20 francs le carat, alors que le brut ne se réalise, en moyenne, qu'à 1 franc le gramme.

La région comprise entre Itrongay et Benenitra, l'Androy, le pays Mahafaly, les régions de Vatomandry et de Marolambo, celle comprise entre Ranotsara du Nord et la partie méridionale de la province de Fianarantsoa (Mafaitra sur la route d'Ambalavao à Ihosy), Ankaditany dans le district d'Ivohibe ; 2 kilomètres Ouest d'Ambodivohitra (Sud de Laondany) peuvent être citées comme fournissant ces grenats.

Usage pour l'industrie. — Depuis quelques années, il est fait un commerce très actif de grenat (almandin et almandin-pyrope) qui, en raison de sa dureté, est recherché par l'industrie de la pivoterie. L'horlogerie le paie, suivant la grosseur, de 3 à 100 francs le kilogramme.

1. J'ai eu l'occasion de voir des fragments de verre que l'on a essayé de vendre à Paris comme spessartite de Madagascar et qui possédaient une couleur remarquablement identique à celle de la pierre de Tsilaizina.

J'ai indiqué plus haut ses principaux gisements, auxquels il faut ajouter, pour les petites pierres, les environs de Tsiombe dans l'Extrême-Sud.

Dans le commerce, les grenats recueillis dans les éluvions et qui ont des formes anguleuses sont appelés *grenats de roche* (exemple : Mafaitra, Antsampandrano, mont Tsilaizina, Ankaditany) et ceux des alluvions, en fragments ou en grains roulés, *grenats de rivière* (exemple : Vatomandry, Marofotsy près Marolambo).

Production. — En 1920, la production a été de 1 753 kilogrammes; elle a été de 15 576 kilogrammes en 1921. Le grenat constitue actuellement la plus grosse portion des pierres de seconde catégorie figurant dans les statistiques du Service des Mines.

e. — Topaze.

Pendant longtemps, la topaze n'a été connue sous la forme de gemme utilisable que dans des alluvions. Un gisement, entre tous, doit être cité, celui d'Ifempina. M. Gaffori y a recueilli des cristaux d'une transparence irréprochable, mais entièrement roulés. Ils atteignent de grandes dimensions; ce prospecteur m'en a communiqué qui pesaient individuellement 230, 298, 412 et 567 grammes. Des cristaux roulés semblables, mais moins gros sont connus dans les alluvions de la Saka.

Cette topaze est incolore, avec parfois une légère teinte bleuâtre. Certains échantillons ont leur limpidité atténuée par l'existence de minuscules inclusions liquides à bulle. Sous cette forme, la topaze ressemble au quartz hyalin et au corindon incolore, elle s'en distingue par la valeur de sa dureté (8) et de sa densité (3,5) et aussi par un clivage très facile dans une seule direction. La ressemblance de cette pierre avec la *topaze goutte d'eau* du Brésil est complète.

Depuis peu, de magnifiques cristaux limpides, incolores, bleuâtres ou légèrement enfumés ont été découverts en place dans la pegmatite à Mahabe, à l'Est d'Andriamena et des fragments très limpides, dépourvus de formes géométriques à Soarano, au Sud-Est de Tsaratanana. Certains d'entre eux pèsent jusqu'à 3 kilogrammes.

f. — Corindon.

A Madagascar, où le corindon est si abondant sous la forme pierreuse, et d'où il est exporté par centaines de tonnes[1], ce minéral ne se présente qu'accidentelle-

1. Voir page 155.

ment à l'état de gemme, rubis ou saphir ; il n'y a été recueilli jusqu'ici que dans les alluvions [1].

Le premier gisement exploité (1904) a été Morarano sur l'Ambahatra ; puis, à partir de 1908, les alluvions basaltiques des vallées descendant des monts Maroparasy et Vohimena et, plus au Sud, Ambohibatazana, jusqu'à Sambaina (notamment Andranomadio), enfin, les environs du Vontovorona ont fait l'objet de recherches assez étendues, aujourd'hui abandonnées.

Morarano a fourni des rubis (type Siam) de moins de un carat ; les saphirs de l'Ankaratra sont parfois un peu plus gros, mais comme leur couleur est très foncée, ce sont surtout les petites pierres qui sont taillées et vendues pour servir d'entourage à des pierres de plus grandes dimensions.

Il me semble utile de donner la liste des couleurs que j'ai observées dans le corindon transparent malgache, ne serait-ce que comme document pour l'avenir.

Incolore : Belambo.

Rouge (*rubis*) *:* Andranofito, Andranomadio, Ifempina ; Ouest de Mahanoro.

Rouge orangé : Ouest de Mahanoro.

Violet clair : Ouest de Mahanoro.

Bleu (*saphir*). — De petits saphirs, d'un bleu pâle, souvent très limpides, ont été rencontrés à Ifempina, au mont Vontovorona, à l'Ouest de Mahanoro, dans la Belambo. Mais la couleur la plus fréquente (Ankaratra) est le bleu sombre qui rappelle celui des saphirs du Velay. On y distingue des variétés d'un bleu foncé, comparable à celui de Birmanie, l'autre, d'un bleu verdâtre, semblable à celui d'Australie.

Vert clair : Belambo, Ouest de Mahanoro, mont Vontovorona.

g. — Spinelles.

Spinelle [2]. — J'ai indiqué plus haut que j'ai fait tailler autrefois, comme curiosité, de très petits spinelles magnésiens, d'un vert clair, de même nuance que le corindon qui les accompagne dans les sables de la Belambo.

Plusieurs fois des échantillons de pierres rouges m'ont été envoyés comme spinelles qui n'étaient que des grenats appartenant à la variété de couleur claire dont il a été question plus haut. Je ne crois pas qu'il existe dans le commerce de la joaillerie de spinelles malgaches.

Ferropicotite. — Par contre, je dois signaler comme intéressante la ferropicotite

1. Il me paraît provenir des syénites endomorphes à corindon.
2. Cf. Tome I, page 322.

$[(Al,Fe)O^2)^2(Fe,Mg)]$ des gisements volcaniques et notamment celle de Nosy Mitsio et de l'Ankaratra (Andranomadio, etc.). Ce minéral fournit des pierres de plusieurs grammes, octaèdres réguliers ou grains, d'un noir extrêmement éclatant, qui pourraient être utilisées pour les bijoux de deuil.

Le brut de Nosy Mitsio a été réalisé au prix de 200 francs le kilogramme. Ce gisement pourrait fournir en abondance ce minéral qui se trouve dans un tuf basaltique.

h. — Cymophane.

La cymophane ou chrysobéryl[1] fournit une gemme d'un beau jaune d'or, beaucoup plus réfringente que les autres pierres de même couleur, à l'exception du corindon qui, d'ailleurs, n'a que rarement cette teinte jaune vif. Les alluvions de la Belambo et de l'Ifempina ont produit quelques jolies pierres de petites dimensions.

J'ai signalé récemment l'existence de ce minéral en très gros cristaux dans les pegmatites à béryl de la région d'Ankazobe (en particulier à Miakanjovato) et aussi dans la région du lac Alaotra. Il est fort possible que l'on y découvre des pierres transparentes et cette opinion est basée sur le fait suivant.

En prenant récemment la densité des tourmalines jaunes d'Ambohimanarivo, que j'avais fait tailler jadis, j'ai constaté que l'une des pierres pesant $0^{gr},591$ et absolument identique comme couleur aux tourmalines, est constituée par de la cymophane, beaucoup plus dense (3.70), qui n'avait pas été reconnue avant la taille. Cette pierre ne se distingue ni de la cymophane de Ceylan ni de celle du Brésil.

i. — Zircon.

Le zircon[2] est une gemme qui devra être recherchée dans la région d'Itrongay. Parmi les minéraux qui en proviennent, j'ai en effet trouvé deux échantillons transparents ; l'un a fourni une pierre d'un violet rappelant celui de l'axinite ; elle pèse environ 13 carats (exactement $2^{gr},7177$) ; sa limpidité est parfaite, alors qu'une pierre plus grosse est un peu givrée. Ce zircon ressemble tout à fait à celui de Ceylan.

Quant aux cristaux de zircon de couleur rouge orangé, recueillis en même temps que le saphir dans les alluvions basaltiques de l'Ankaratra, comme ceux du

1. Cf. Tome I, page 335.
2. Cf. Tome I, page 233.

Velay qui se trouvent dans les mêmes conditions et avec les mêmes couleurs, ils ne peuvent qu'exceptionnellement fournir des pierres utilisables.

j. — Cordiérite.

La cordiérite ou *saphir d'eau*[1], lorsqu'elle est limpide, constitue une gemme de valeur minime et peu répandue. Le mont Tsilaizina en a fourni des masses de grande taille d'où ont été extraites de jolies pierres de quelques carats. Leur bleu me paraît supérieur, comme agrément, à celui du saphir d'eau de Ceylan.

Cette gemme a une dureté de 7 et 7,5, une densité de 2,65, qui, jointes à un polychroïsme net, permettent de la distinguer aisément des autres pierres bleues.

Usage pour l'ornementation. — Si la cordiérite assez transparente pour pouvoir être utilisée comme gemme est peu abondante, elle fournit par contre, au mont Tsilaizina, de beaux blocs homogènes. J'ai vu une fort jolie coupe d'une belle teinte bleue, taillée dans ce minéral.

k. — Diopside.

Le diopside ne figure que comme curiosité dans les traités consacrés aux pierres précieuses.

Les éluvions d'Itrongay fournissent, en même temps que l'orthose jaune, de gros cristaux[2] suffisamment transparents pour qu'ils puissent être taillés. Ils donnent des pierres d'une couleur vert bouteille rappelant celle de certaines tourmalines ; elles s'en distinguent aisément par l'absence de polychroïsme.

J'ai fait tailler un cristal qui a fourni une pierre pesant près de 39 carats ($7^{gr},7688$), mais comme la couleur est très foncée, il est à recommander de rechercher de préférence les pierres de moindres dimensions.

l. — Quartz.

Le quartz hyalin (cristal de roche) est très employé pour l'ornementation ; il en sera longuement question plus loin. Il ne peut pas être considéré, à proprement

1. Cf. Tome I, page 303.
2. Cf. Tome I, page 509.

parler, comme une pierre précieuse ; mais il n'en est pas de même pour certaines autres variétés du quartz.

α. **Girasol et quartz opalin.** — Cette variété de quartz a des reflets opalescents rappelant ceux de la pierre de lune. J'en ai rencontré une variété provenant d'Itrongay qui permet d'obtenir des cabochons d'un très joli effet.

Dans la pegmatite de Mahabe, se trouvent des blocs de quartz transparent qui ont cependant un léger aspect d'opale d'un joli effet.

β. **Améthyste.** — L'améthyste abonde à Madagascar, soit dans les cryptes des pegmatites (Tongafeno, Ampangabe, etc.), soit dans des veinules quartzeuses en rapport avec celles-ci (Ambatomanga, près du gisement de betafite d'Ambatofotsy, etc.).

Il est vraisemblable que des recherches feraient trouver des échantillons taillables d'améthyste dans une autre catégorie de gisements, dans les géodes des nodules siliceux des basaltes.

L'améthyste de Madagascar est d'un très beau violet, généralement clair, dont la nuance rappelle celle de l'améthyste de Sibérie. Ses cristaux sont souvent de grande taille, ce qui compense leur habituelle hétérogénéité de couleur. Il en a été tiré de fort belles pierres.

Le gisement d'Ambatomanga, en particulier, a fourni environ 1 100 kilogrammes d'améthyste.

Le brut vaut 0 fr. 50 à 1 fr. 50 le gramme. Quelques belles pierres, une fois taillées, ont été vendues jusqu'à 30 francs le gramme.

γ. **Quartz citrin et quartz enfumé.** — Les cryptes à cristaux du Sud de la Mania fournissent du quartz enfumé suffisamment limpide pour permettre d'en faire, par chauffage, des pierres à comparer à la *fausse topaze d'Espagne*, mais il existe aussi des variétés naturellement jaunes (quartz citrin) (Amparikaolo à 8 kilomètres de Ramartina au Sud de Mahajilo) ou rougeâtres (Tsileo), fournissant des pierres remarquablement belles et qui peuvent être utilisées en joaillerie.

Les pierres d'Amparikaolo se vendent de 25 à 50 francs le kilogramme.

m. — Opale.

Les trachytes altérés de Faratsiho dans l'Ankaratra sont traversés par des veinules d'opale[1] qui, par ses reflets, est comparable à celle de Hongrie et de la Nou-

1. Cf. Tome I, page 270.

velle-Galles du Sud. Malheureusement, au moins à ma connaissance, on n'a extrait de ce gisement que des fragments de trop petite taille pour pouvoir être exploités fructueusement.

Il s'y trouve aussi une opale, rappelant l'*opale de feu*, mais plus jaune que celle du Mexique ; une variété analogue a été rencontrée dans une toute autre nature de gisement, dans les gneiss altérés à graphite entre Anivorano et Fanovana.

n. — Nouvelles gemmes malgaches.

Sous cette rubrique, je désigne les minéraux dont il a été question plus haut, qui, jusqu'ici n'ayant pas été employés comme gemmes, se trouvent à Madagascar en cristaux d'une limpidité si parfaite qu'ils peuvent être recherchés pour la taille. Ils constituent des spécialités pour Madagascar.

α. **Kornerupine.** — Ce minéral n'était connu qu'au Groenland, sous forme de baguettes fibro-bacillaires, à peine translucides, de même que sa variété, la prismatine de Saxe. J'ai montré[1] que dans les éluvions de la région d'Itrongay, il se rencontre sous un aspect insolite, en fragments anguleux d'un vert olive profond, fournissant de fort belles pierres pour la taille. Le polychroïsme étant sensible sous une certaine épaisseur, la teinte est un peu variable suivant la direction donnée à la table.

La plus grosse pierre que j'ai pu obtenir pèse 21 carats (exactement $4^{gr},3078$) ($20^{mm},7 \times 16^{mm},2$). Les pierres plus petites sont d'un vert clair qui rappelle certaines variétés de béryl et de tourmaline, mais leur éclat est plus grand que celui de ces minéraux. La densité est de 3,27, les indices de réfraction sont les suivants : $n_g = 1,6770$, $n_m = 1,6760$, $n_p = 1,6650$; malheureusement la dureté n'est que de 6,5.

β. **Orthose ferrifère.** — C'est dans les mêmes éluvions que se trouve la belle variété d'orthose ferrifère[2] qui constitue l'élément d'une pegmatite à diopside d'un type très spécial qui présente en outre cette particularité unique de n'être formée que de minéraux transparents.

Elle est jaune et parfois d'un jaune d'or magnifique ; ce minéral se présente en cristaux pesant jusqu'à 100 grammes, il fournit des pierres taillées de plusieurs grammes qui sont d'un fort bel effet. Le peu de dureté de l'orthose ne permettrait

1. Cf. Tome I, page 396.
2. Cf. Tome I, page 559.

pas d'en faire des bijoux d'un usage journalier, mais ce minéral peut être utilisé cependant dans la joaillerie.

Il a été vendu de 75 à 500 francs le kilogramme en cristaux de belle couleur et parfaitement limpides.

J'ai observé du même gisement une variété adulaire d'orthose qui fournit de belles pierres incolores d'une limpidité admirable : sa densité est un peu supérieure à celle du type jaune.

γ. **Danburite.** — J'ai trouvé la danburite[1] dans les pegmatites de Maharitra et dans les éluvions d'Imalo en cristaux suffisamment transparents pour pouvoir être taillés. Ils constituent une gemme d'un jaune madère de différentes intensités qui possède des propriétés très voisines de celles de la topaze ; je ne doute pas que ce soit sous ce nom qu'ont été vendues les quelques pierres actuellement en circulation dans le commerce. J'ai obtenu de Maharitra une pierre pesant un peu plus de 5 carats ($1^{gr},0149$).

Tout récemment, dans un lot de minéraux provenant d'Anjanabonoina que m'a envoyé M. Rossi, j'ai rencontré deux fragments de danburite d'un magnifique jaune d'or. L'un d'eux a été taillé et a fourni une pierre d'un poids de $2^{gr},6971$. Son aspect est celui de certaines tourmalines et du chrysobéryl.

δ. **Scapolite.** — En décrivant la remarquable scapolite transparente de la pegmatite de Tsarasaotra[2] j'ai fait remarquer que sa limpidité, sa belle couleur jaune (jaune paille et jaune d'or) pouvaient la faire considérer comme une gemme intéressante. Il est possible d'obtenir des pierres taillées de plusieurs grammes ; grâce à ces grandes dimensions, elles ont une couleur foncée rappelant celle de quelques béryls. On peut les distinguer de ceux-ci en ce que leur dureté est moindre (6,5 au lieu de 7,5) ; en outre, cette scapolite possède un léger polychroïsme dont le maximum a lieu en sens inverse de celui du béryl ; les deux minéraux sont uniaxes et optiquement négatifs ; leur indice maximum est voisin, mais l'indice minimum est plus petit dans la scapolite que dans le béryl.

F. — *Détermination des Gemmes.*

Il m'a paru intéressant de résumer dans des tableaux les constantes numéri-

1. Cf. Tome I, page 456.
2. Cf. Tome I, page 580.

ques *prises sur les gemmes de Madagascar* et qui peuvent servir à leur détermination scientifique rapide.

J'ai divisé les gemmes par couleur et pour chacune de celles-ci, les gemmes ont été ordonnées en fonction de la densité, propriété qu'il est facile de mesurer, même en l'absence de laboratoire. J'ai donné, non pas des moyennes, qui sont décevantes, mais les chiffres extrêmes constatés; pour les indices de réfraction (lumière du sodium), je n'ai indiqué que trois décimales, renvoyant au tome I pour plus de précision[1].

Pour chaque tableau, j'ai donné en notes des remarques au sujet de la comparaison de quelques-unes des gemmes malgaches avec celles de certains autres centres de production (mesures faites par M. Gaubert sur les échantillons de la collection du Museum). J'appelle spécialement l'attention sur les valeurs élevées de la densité et des indices de réfraction des béryls césifères qui ne figurent encore dans aucun des Traités consacrés aux pierres précieuses.

Quelques mots seront utiles au sujet de la *densité*; on ne saurait trop recommander aux personnes qui font le commerce des pierres de prendre l'habitude de se servir de ce caractère, au moins de la façon suivante, en utilisant les liquides denses et particulièrement l'iodure de méthylène et le tétrabromure d'acétylène.

Deux éprouvettes sont remplies avec chacun de ces liquides; la pierre à déterminer est placée tout d'abord dans l'iodure de méthylène; si elle flotte dans celui-ci, elle est alors transportée dans le tétrabromure d'acétylène. Trois cas peuvent se présenter.

I. — La pierre tombe dans l'iodure de méthylène. Sa densité est supérieure à 3,33 :
Zircon, corindon, cymophane, spinelle, topaze, grenat, péridot.

II. — La pierre flotte dans l'iodure de méthylène, mais tombe dans le tétrabromure d'acétylène; la densité est comprise entre 3,33 et 2,90 :
Triphane, danburite, tourmaline, diopside, kornerupine.

III. — La pierre flotte dans le tétrabromure d'acétylène, sa densité est plus petite que 2,90 :
Béryl, scapolite, orthose, quartz, opale, cordiérite.

IV. — On pourrait en outre faire un mélange de tétrabromure et de xylol en proportion telle qu'un fragment de quartz hyalin y flotte. Le béryl

1. Les indices, inscrits *en italiques* sur ces tableaux n'ont pas été pris sur des minéraux malgaches. Lorsque le nom d'un minéral est précédé d'un *, c'est que la couleur considérée y est exceptionnelle.

tombe dans un tel liquide, alors que la cordiérite, l'orthose et l'opale y flottent.

Ce premier classement effectué, on mesure la *dureté*. Cette donnée est en général appréciée empiriquement, en essayant de rayer la pierre à l'aide des divers minéraux de l'échelle de Mohs ou en essayant de rayer avec ceux-ci la pierre étudiée. On sait que l'échelle de Mohs est formée par les minéraux suivants : 10, diamant ; 9, corindon ; 8, topaze ; 7, quartz ; 6, orthose ; 5, apatite ; 4, fluorine ; 3, calcite ; 2, gypse ; 1 talc.

Une pierre ayant une dureté de 7,5 par exemple raye le numéro 7 et est rayée par 8.

Les gemmes malgaches se classent de la façon suivante d'après leur dureté.

9, *corindon*.
8, *topaze, cymophane*.
7,5, *béryls, zircon*.
7, *tourmalines, danburite, quartz, grenats, cordiérite*.
6,5 à 7, *triphane*.
6,5, *scapolite, olivine*.
6, *orthose, diopside*.
5,5, *opale*.

L'emploi, de l'*indice* unique de *réfraction*, si le minéral est *monoréfringent* (grenats, spinelles), ou des indices (n_g et n_p) s'il est *biréfringent*, la constatation de l'existence ou de l'absence de *polychroïsme* viennent s'ajouter pour compléter le diagnostic.

Fraudes. — L'emploi de ces divers caractères est utile non seulement pour préciser la nature d'une pierre, mais encore pour déceler les fraudes qui, dans tous les pays producteurs, ne manquent pas d'être à redouter. A Madagascar, elles commencent à apparaître et il m'est arrivé, à de nombreuses reprises, d'être consulté sur la nature de pierres suspectes trouvées dans des lots de brut. J'ai vu aussi des pierres taillées à Tananarive et qui n'étaient autres que du verre.

Ces fraudes sont facilitées par la circonstance suivante : les pierres ne peuvent circuler légalement dans la Colonie que munies d'un laissez-passer indiquant leur origine. Il n'est un secret pour personne que des vols nombreux sont effectués par les indigènes travaillant sur les piquets et qu'il se trouve en outre des per-

sonnes qui n'hésitent pas à acheter ces pierres de provenance illicite. Les indigènes en profitent, assurés qu'ils sont contre les réclamations par voie judiciaire, pour glisser parfois, au milieu des pierres égrisées, des fragments de verre d'une couleur appropriée à celle du lot vendu. Il est assez facile de reconnaître le « gisement originel » de ces pierres fausses dans le verre des bouteilles de couleur variée renfermant les spiritueux vendus dans la Colonie. Point n'est besoin d'une grande perspicacité pour déceler, en particulier, l'origine du verre qui imite certaines spessartites de Tsilaizina ; sa densité est de 2,516, son indice de réfraction de 1,4900.

Le tétrabromure d'acétylène permet aisément de reconnaître ces verres dont la densité avoisine 2,50 ; ils sont tendres, fondent facilement au chalumeau en une perle de même couleur que l'échantillon essayé ; enfin ils sont monoréfringents.

J'ai trouvé aussi des fragments d'apatite mêlés à des béryls de même couleur. L'apatite se raye au couteau (dureté 5). Sa densité est plus grande (3,17 — 3,23) que celle des béryls et il en est de même pour la réfringence ($n_g = 1,6388$; $n_p = 1,6354$).

	DENSITÉ	DURETÉ	*ng*	*np*	OBSERVATIONS
		PIERRES INCOLORES[1]			
* Corindon.	3,9 — 4,1	9	*1,768*	*1,759*	
Topaze.	3,605	8	1,612 1,625	1,616 1,624	1 cliv. très facile.
Triphane.	3,17	6,5 à 7	1,675	1,660	2 cliv. faciles.
* Tourmaline[2].	3,106	7	1,646	1,624	
* Danburite.	3,01	7	1,636	1,630	
Béryls.	2,71 2,91	7,5	1,582 1,600	1,576 1,592	
* Scapolite.	2,67	6,5	1,570	1,549	
Quartz hyalin.	2,65	7	*1,551*	*1,542*	
* Orthose.	2,59 à 2,60	6	1,529	1,523	2 cliv. faciles.
Opale (hyalite).	2,15	5,5	1,437-1,455		

1. Comme curiosité, j'ai fait tailler un petit cristal transparent de *rhodizite* qui constituerait une pierre assez éclatante, si on la rencontrait en cristaux limpides assez gros N = 1,686, c'est-à-dire plus grand que le plus grand indice du triphane : la densité est de 3,25.

2. Les tourmalines incolores de Madagascar diffèrent de celles du Brésil que j'ai pu étudier par leur densité plus grande :

	DENSITÉ	*ng*	*np*
Brésil :	3,028	1,6358	1,6185
	3,078	1,6423	

	DENSITÉ	DURETÉ	*ng*	*np*	POLYCHROÏSME	OBSERVATIONS
PIERRES ROUGES ET ROSES						
Corindon (rubis). . . .	3,9 — 4,1	9	*1,768*	*1,759*	+	Rouge rubis à rose.
Grenats : almandin. . . .	4,22 à 4,17	7	1,820 à 1,805		—	Rouge sang à rouge groseille.
— almandin-pyrope. .	3,93 à 3,82	»	1,780 à 1,747			
Triphane (kunzite). . . .	3,16	6,5 — 7	1,675	1,659	+	Rose lilas.
Tourmalines [1].	3,03 3,105	7	1,637 1,646	1,620 1,626	+	Toutes les teintes de rouge et de rose.
Béryls (morganite) [2]. . .	2,91 2,71	7,5	1,600 1,582	1,592 1,576	+	Rose fleur de pêcher à rose saumon.
Quartz.	2,65	7	1,554	1,544		Rose (*seul^t translucide*).
PIERRES ORANGÉES						
Spessartite.	4,11	7 à 7,5	1,802		—	Orangé clair à brun rouge.
PIERRES VIOLETTES						
Zircon.	4,4 à 4,70	7,5	*1,928*	*1,924*		Violet rougeâtre.
* Tourmaline.	3,107	7	1,646	1,624	+	Améthyste.
Quartz améthyste. . . .	2,65	7	*1,551*	*1,542*		Améthyste.
PIERRES JAUNES						
Cymophane.	3,68	8	*1,756*	*1,740*		Jaune d'or.
Olivine.	3,38	6,5	*1,689*	*1,653*		Jaune olivâtre.
Triphane.	3,17	6,5 à 7	1,675	1,660		Jaune pâle.
Tourmalines [3].	3,095 3,117	7	1,634 1,648	 1,624	+	Jaune d'or, jaune citron, jaune brunâtre.
Danburite.	3,01	7	1,636	1,631		Jaune d'or, jaune madère.
Béryls.	2,77 2,71	7,5	1,593 1,583	1,583 1,577	+	Jaune d'or, jaune verdâtre.
Scapolite.	2,67	6,5	1,670	1,549	+	Jaune paille.
Quartz (citrin).	2,65	7	*1,551*	*1,542*	+	Jaune madère, jaune topaze.
Orthose ferrifère. . . .	2,565 2,580	6	1,525 1,526	1,520 1,522	—	Jaune d'or à jaune pâle.

1. Les tourmalines de Madagascar présentant des types rouges et roses sont beaucoup plus denses que celles d'autres régions :

	DENSITÉ	*ng*	*np*
Mesa Grande (Californie). .	3,03	1,6367	1,62
	3,038	1,6398	1,6218
Salinas (Brésil).	3,034	1,6380	
	?	1,6398	1,6239

2. Les couleurs d'un rose vif et d'un rose saumon sont une spécialité de Madagascar.

3. Les tourmalines jaunes d'or foncé paraissent spéciales à Madagascar ; au point de vue de leur densité et de leur réfringence, elles sont comparables aux tourmalines vert bouteille du Brésil et du Maine qui en diffèrent au point de vue chimique en ce qu'elles contiennent autant de fer que de manganèse.

	DENSITÉ	DURETÉ	ng	np	POLYCHROÏSME	OBSERVATIONS
			PIERRES BRUNES			
Tourmalines [1]	3,116	7	1,648	1,624	+	Brun
	3,058	7	1,643	1,626	+	Brun enfumé.
Quartz	2,65	7	*1,551*	*1,542*		Brun enfumé.
			PIERRES BLEUES			
Corindon (saphir)	3,9 — 4,1	9	*1,768*	*1,759*	+	Bleu saphir.
* Tourmaline	3,059	7	1,643	1,624	+	Bleu pâle, bleu vert.
Béryls	2,72	7,5	1,583	1,577	+	Bleu de ciel, bleu vert,
	2,77		1,593	1,583		bleu avec teinte de noir.
Cordiérite	2,59	7 — 7,5	1,547	1,539	+	Bleu violacé.
			PIERRES VERTES			
Corindon	3,9 — 4,1	9	*1,768*	*1,759*	+	Vert pâle.
Spinelle	3,55	8	*1,715*		—	Vert pâle.
Kornerupine	3,27	6,5	1,677	1,665	+	Vert pâle un peu olivâtre.
Diopside	3,26	5,5 — 6	1,700	1,673	—	Vert bouteille foncé.
* Triphane	3,19	6,5 — 7	1,681	1,668	—	Vert très pâle.
Tourmalines	3,05	7	1,642	1,625	+	Vert d'herbe.
	3,073		1,643	1,637		Vert poireau clair.
Béryls	2,85	7,5	1,597	1,589	+	Vert de mer (aigue-marine), vert bleu, vert
	2,72		1,584	1,577		olivâtre, vert jaune.

1. Les seules tourmalines brunes du Brésil examinées ont une densité plus faible que celles de Madagascar.

DENSITÉ	*ng*	*np*
3,028	1,6358	1,6185
3,034	1,6380	1,6200

2. Il existe deux types de tourmaline verte ; l'un est d'un vert plus ou moins vif, de nuances variées, généralement claires ; c'est le seul qui jusqu'ici ait été rencontré à Madagascar ; il se trouve aussi au Brésil et dans le Maine. Voici les valeurs extrêmes mesurées pour les cristaux de ces deux régions.

	DENSITÉ	*ng*	*np*
Maine	3,056	1,6400	1,6204
	3,079	1,6412	1,6208
Salinas (Brésil)	3,043	1,6385	1,6226
	3,078	1,6430	1,6200

Un second type est d'un vert bouteille foncé ; il est caractérisé, au point de vue chimique, par une richesse en oxydes métalliques plus grande que dans les types précédents, avec presque égalité du fer et du manganèse, tandis que dans le type précédent, le manganèse prédomine sur le fer ; le second type, réalisé par les tourmalines vertes les plus communes au Brésil et dans le Maine, n'a pas été rencontré, à ma connaissance, à Madagascar.

	DENSITÉ	*ng*	*np*
Maine	3,116	1,6448	1,6221
Brésil	3,118	1,6450	1,6263

II. — PIERRES D'ORNEMENTATION ET D'INDUSTRIE.

En outre des gemmes, Madagascar renferme un grand nombre de minéraux susceptibles d'être recherchés pour la fabrication de bibelots artistiques, d'objets d'ornementation et d'instruments nécessaires à diverses industries. Sauf en ce qui concerne le *cristal de roche,* cet emploi des pierres de la Grande Ile n'a pas jusqu'à présent attiré beaucoup l'attention des prospecteurs, mais l'exemple des États-Unis, dont les statistiques minières renferment tant d'exemples d'utilisations de ce genre, ne devrait pas être perdu de vue.

Voici quelques cas dans lesquels un commencement d'application industrielle a été tenté avec succès.

A. — *Quartz.*

a. — Quartz hyalin (Cristal de roche).

α. **Historique.** — Le cristal de roche ayant joué un certain rôle dans les récits des anciens explorateurs de Madagascar et étant exporté de l'île depuis plusieurs siècles, il ne sera pas déplacé de donner ici quelques renseignements historiques.

Les immigrants arabes qui se sont établis, dès le IXe ou le Xe siècle sur les côtes Nord-Est et Nord-Ouest de Madagascar, exportaient du cristal de roche en Arabie, en passant généralement par la côte orientale d'Afrique, et par l'Inde ; le produit arrivait ensuite en Europe et probablement aussi en Chine.

A partir du XVIIe siècle, il y a toujours eu de temps en temps, à Madagascar, un commerce d'exportation direct de cristal de roche pour la France. On en trouve nombre de traces dans les ouvrages des anciens voyageurs qui se sont beaucoup préoccupés de rechercher d'où provenait cette belle matière.

L'amiral hollandais, Cornélis Houtman qui, se rendant dans l'Inde, a relâché en 1595 dans la baie d'Antongil, rapporte qu'on trouve « au fond de cette baie beaucoup de cristal ».

En 1655, le capitaine La Forest, commandant l'un des navires du maréchal de la Meilleraye, a mouillé devant la bouche du Manantsatrana (vis-à-vis de la pointe Sud de l'île Sainte-Marie) pour « lester son navire de pierres de cristal qui se trou-

vent à trois ou quatre lieues en amont », mais, n'ayant pu obtenir des Malgaches, qui étaient en ce moment occupés à récolter leur riz, qu'ils lui en apportassent, il recourut à la manière forte, en usage à cette époque et, pour les y contraindre, il s'empara du chef du pays et de quelques femmes ; en effet, les indigènes, devant cet acte de violence, s'empressèrent de lui fournir quatre pirogues de quartz, mais ayant réussi à attirer le capitaine dans un village voisin de la « carrière de cristal », ils le tuèrent, ainsi que deux de ses compagnons, puis s'enfuirent dans la montagne. Le reste de l'équipage, ayant tenu conseil, décida de relâcher les otages qui, en somme, étaient innocents de ce meurtre, et fit route pour la mer Rouge.

Dès 1658, dans sa « Relation de la Grande Isle de Madagascar » [301] Flacourt figure sur une carte les points de la côte Nord-Ouest, où, de son temps, était trouvé le cristal de roche. François Martin, qui vint en ce lieu quelques années plus tard, en 1665, visita cette « carrière », où il vit « plusieurs fossés d'où avait été extrait le cristal » ; en ayant, avec beaucoup de peine, fait tirer deux blocs, dont l'un ne pesait pas moins de 300 livres, il les fit casser à coups de marteau et « le cristal lui parut beau « (*M. S. Archiv. nation.*).

De Valgny cite (*M. S. Bibl. Museum*), en 1751, Foulpointe comme l'un des ports où l'on en venait chercher, et, en 1768, le Gouverneur de l'Ile de France, Dumas, demandait au sieur Clément, chef de traite pour le Roi sur la côte orientale de Madagascar, de lui envoyer des « blocs de cristal assez gros pour les scier en tables, qu'on pourrait vendre fort cher » ; il voulait, de concert avec Poivre, accaparer l'exportation du cristal de roche, qu'il jugeait devoir leur donner des gains considérables.

A l'Ouest de la baie d'Antongil, Benyowsky et son compagnon Lassale déclarent, en 1786, que « la terre est couverte de cristaux superbes » dans la forêt où prend sa source l'Iribe, affluent qui se jette dans la Mananara à une lieue de son embouchure et que, au fond de cette même baie, il y a « une carrière de beaux cristaux » dont parlait déjà Houtman en 1595.

Des renseignements analogues se trouvent chez les auteurs qui, au XIXe siècle[1], ont écrit sur Madagascar; mais on n'y trouve pas de renseignements plus précis. Nous arrivons ainsi à la période moderne.

En 1870, A. Grandidier a constaté que les Hova achetaient le cristal de roche aux indigènes de 15 à 20 piastres les cent livres; ils le revendaient avec un énorme bénéfice aux traitants européens. Il a bien voulu me donner les quelques

1. Faujas de Saint-Fond signale (*Essai de Géologie*, tome II, 1809, p. 92) qu'une grande quantité de blocs roulés de quartz hyalin, dont quelques-uns pesaient plus de 150 livres, a été importée à Paris vers 1789, où ils eurent un grand succès chez les lapidaires.

renseignements suivants sur l'emploi que les Malgaches faisaient, à cette époque, du quartz. Ces renseignements, intéressants au point de vue ethnographique, n'ont d'ailleurs pas perdu toute leur actualité.

Le cristal de roche, et même le quartz translucide, sont considérés par beaucoup de Malgaches comme doués de certaines propriétés magiques. Les Hova et quelques autres peuplades ont l'usage de déposer sur les tombes, ainsi que sur le sommet des pierres levées, érigées en mémoire des morts, des cailloux de quartz, autant que possible transparents. Lorsqu'ils viennent visiter ces pierres levées ou ces tombeaux, ils les enduisent d'un peu de graisse prise sur la victime immolée en l'honneur du mort et, c'est alors qu'ils y déposent un morceau de quartz.

Chez les Hova, au moment où l'on place le cadavre sur une des tablettes qui garnissent leurs caveaux funéraires[1], le veuf ou la veuve y jettent un caillou noir (représentant l'époux mort) et en prennent un blanc, un morceau de quartz (nommé « *vato velona* », pierre vivante), qu'ils conservent pieusement par devers eux, en disant : « Celle-ci est ma pierre ! », pendant que les assistants psalmodient un chant funèbre.

Le cristal de roche sert à certains « *mpisikidy* » ou diseurs de bonne aventure Sakalava[2], qui, tournés vers l'Est et, après avoir étendu devant eux une petite natte, ayant déposé au Nord, à leur gauche par conséquent, le tas des graines qui doivent servir à leur opération magique, placent devant eux un cristal de roche « *vato mahita* » (pierre qui permet de voir), (souvent remplacé aujourd'hui par un simple morceau de verre), grâce à quoi le « sikidy » verra plus clair, verra mieux dans l'obscurité de l'avenir.

Dans le commerce, le cristal de roche de Madagascar est souvent indiqué comme provenant de Vohémar ou de Nosy Be. Mais il s'agit là seulement des ports d'embarquement, d'où jadis cette matière partait presque exclusivement pour l'Europe.

Avant l'occupation française, elle était tirée uniquement des alluvions et des éluvions. Aujourd'hui, ce mode de gisement, et notamment les alluvions, ne fournissent plus qu'une part infime de la production. Le quartz, en cristaux beaucoup moins gros mais très nets, est extrait des cryptes des quartzites du Massif cristallin. Les cristaux y sont recueillis implantés sur les parois ou gisant, brisés, dans les cavités remplies d'argile (Cf. tome I, p. 204) ; ils sont triés sur place. On n'a tout d'abord utilisé que ceux qui étaient parfaitement transparents. Depuis peu, l'on se sert aussi d'un second choix, constitué par les cristaux givrés.

1. Cf. page 168.
2. Cf. A. Dandouau. Coutumes Sakalava, Le Sikidy. *Anthropos*, t. IX, 1914.

β. **Usages.** — Voici les divers usages auxquels le quartz hyalin est employé :

Ornementation. — Les gros cristaux sont utilisés depuis plusieurs siècles pour fabriquer de nombreux objets d'ornementation. Beaucoup des coupes artistiques qui ornent nos musées ont été faites avec du quartz de Madagascar qui, à cet égard, peut rivaliser avec celui du Brésil. Avant la généralisation de la fabrication du cristal, il était taillé en pendeloques de lustres. Il sert encore aujourd'hui à confectionner divers objets artistiques : coupes, sphères, cachets, boîtes de toutes formes, flacons à parfums, etc.

Valeur. — Le prix du *quartz de taille* est variable, avec une moyenne de 5 francs le kilogramme, mais sa valeur peut atteindre jusqu'à 20 francs pour des blocs de qualité exceptionnelle.

Lunetterie. — La dureté du quartz et sa conductibilité calorifique supérieures à celles du verre font rechercher ce minéral pour la fabrication des lunettes et des lorgnons qui ne se couvrent pas de buée aussi facilement que ceux fabriqués avec du verre artificiel. Pour cet objet, la matière doit être parfaitement limpide[1], dépourvue de toute inclusion (neige des opticiens) et particulièrement de ces traînées d'inclusions liquides, si fréquentes dans les cristaux de quartz en général. Il semble que les macles intérieures ne constituent pas un défaut pour cet usage qui nécessite seulement des cristaux d'au moins 4 centimètres et demi de diamètre, puisque les verres de lunettes doivent avoir leur surface plane perpendiculaire à l'axe vertical (axe optique) du cristal.

Valeur. — Le quartz pour lunetterie se vend jusqu'à 12 et 15 francs le kilogramme.

Optique de précision. — Le quartz est recherché pour la fabrication d'un certain nombre d'instruments d'optique[2] et particulièrement pour celle des prismes de spectrographes. Cet emploi exige que les cristaux aient une homogénéité optique parfaite et soient par suite dépourvus de ces macles intimes dans lesquelles sont associés des cristaux de rotation différente.

Les opticiens que j'ai consultés sur cette question sont unanimes à déclarer qu'à cet égard le quartz de Madagascar ne présente pas la pureté de certains échantillons du Brésil, qui, d'ailleurs, sont eux-mêmes exceptionnels. Cependant, j'estime que ce jugement n'est peut-être pas définitif et qu'il y aurait lieu d'expérimenter d'une façon méthodique les cristaux de différents gisements de l'île. Il

1. Les producteurs ne sauraient apporter trop de soins au triage de leurs cristaux ; l'opinion défavorable souvent émise au sujet du quartz de Madagascar me paraît due surtout à une présentation imparfaite du produit.

2. C'est le quartz hyalin qu'il avait rapporté de Madagascar en 1776 qui a servi à Rochon pour son célèbre *Mémoire sur le moyen d'employer la double réfraction du cristal de roche à la mesure précise des petits angles.* Paris, 1783.

n'est pas improbable que l'on rencontre quelque localité dont les cristaux possèdent les propriétés désirées, et l'on peut se demander si, dans le commerce, l'on n'a pas pris l'habitude de désigner *a priori* comme quartz du Brésil, tous les cristaux de bonne qualité.

Production et détection des ondes ultra-sonores. — Un nouvel emploi du quartz de Madagascar mérite d'être signalé.

Les propriétés piézo-électriques du quartz, découvertes en 1880 par Jacques et Pierre Curie n'avaient été appliquées jusqu'ici qu'à des mesures de laboratoire. M. Langevin a montré qu'elles se prêtent admirablement à la transformation des oscillations électriques de haute fréquence telles qu'on les emploie en télégraphie sans fil (20 000 à 1 000 000 de périodes par seconde et plus) en oscillations élastiques de même fréquence (ultra-sonores) ainsi qu'à la transformation inverse.

Une lame de quartz taillée perpendiculairement à un axe binaire (axe électrique) est placée entre deux lames métalliques formant armatures d'un condensateur. Quand on charge celui-ci, la lame de quartz se contracte ou se dilate dans le sens de son épaisseur, suivant le sens du champ électrique ainsi créé dans le condensateur.

Si ce condensateur fait partie d'un circuit oscillant de haute fréquence, il se charge alternativement dans un sens et dans l'autre et la lame de quartz se contracte et se dilate à la fréquence des oscillations électriques. L'amplitude des oscillations élastiques ainsi obtenues peut être augmentée considérablement grâce à l'emploi de résonances appropriées.

Si le condensateur est immergé de manière qu'une seule de ses armatures soit en contact avec l'eau, les vibrations dont il est le siège se transmettent à l'eau sous forme d'ondes ultra-sonores qui se propagent avec la vitesse du son, soit environ 1 500 mètres par seconde. *On a pu obtenir des émissions de ce genre représentant une puissance supérieure à un kilowatt.*

Le phénomène inverse peut être utilisé pour la détection des ondes ultra-sonores. En effet, les compressions et dilatations périodiques provoquées dans le quartz par les ondes ultra-sonores incidentes font apparaître entre les armatures du condensateur une différence de potentiel alternative de haute fréquence qui peut être amplifiée et décelée par les procédés habituels de la télégraphie sans fil.

Ces propriétés ont trouvé leur application pour la construction d'appareils ayant servi à la défense nationale. Cet usage exige des cristaux homogènes dépourvus de fissures, d'inclusions et de macles intérieures. Ce sont précisément les propriétés réclamées par l'optique de précision, mais, tandis que le quartz de Madagascar en général est, comme on vient de le voir, dédaigné par les opticiens, certains de ses cristaux, au contraire, et cela paraît contradictoire, sont très prisés

pour les applications de leur piézo-électricité et il en a été fait une certaine consommation pendant la guerre, notamment en Angleterre : cette constatation me paraît donner quelque poids à la réflexion que j'ai faite plus haut à l'occasion de l'emploi de ce quartz en optique.

La disposition des faces hémièdres (Tome I. fig. 53 à 61, p. 206), la régularité des stries horizontales et l'orientation des figures de corrosion sur les faces du prisme, la position des corrosions sur les arêtes verticales (Tome I, fig. 63, 64, 65 et 67. Pl. 7) sont autant de caractères permettant de reconnaître à première vue si les cristaux possèdent l'homogénéité désirée. Les dimensions les plus recherchées sont 15 centimètres au minimum suivant l'axe vertical, avec une largeur moitié de celle de la longueur.

Valeur. — Les cristaux propres à cet usage se vendent jusqu'à 30 francs le kilogramme.

Industrie du quartz fondu. — Depuis quelques années, l'industrie de la silice fondue a pris une grande extension pour la fabrication d'une foule d'instruments de laboratoires (capsules, tubes, récipients divers), recherchés à cause de la résistance du verre de quartz aux agents chimiques et de la valeur presque nulle de son coefficient de dilatation qui élimine les chances de rupture par changements brusques de température.

Les conditions requises pour une telle utilisation d'un quartz consistent dans une pureté chimique parfaite, rarement possédée par le quartz en roche et notamment par celui des filons. Aussi a-t-on été conduit à s'adresser aux cristaux. Ceux de Madagascar sont particulièrement propres à cet usage. Dans les cryptes à cristaux, le quartz n'est généralement accompagné d'aucun autre minéral; son opacité, ou tout au moins le défaut de transparence parfaite, est d'ordinaire dû simplement à l'existence d'inclusions liquides ne renfermant aucun produit qui subsiste après fusion du minéral. Les déchets de l'exploitation de ces cryptes, consistant en cristaux givrés, incomplètement transparents, sont recherchés par l'industrie du quartz fondu qui, toutefois, préfère le quartz parfaitement limpide.

Valeur. — Avant la guerre, cette qualité de quartz de Madagascar se vendait de 900 à 1 200 francs la tonne suivant la qualité; sa valeur est beaucoup plus élevée aujourd'hui.

Dans une même région, le cristal de roche extrait n'est pas indifféremment propre à tous les usages qui viennent d'être énumérés. C'est ainsi que, d'après les renseignements qui m'ont été fournis par M. Rossi sur la région d'Ambatofinandrahana, les cryptes de Menavato, Betaimboraka, Mangataboahangy, fournissent de très beaux quartz pour la lunetterie, celles de Volavaky et de Lavakolona, dans la région

de Fefena, donnent un produit inférieur, alors que les gisements d'Antsatsa, de Tsaramoka et de Tsitakabasy ne renferment que du quartz bon pour la fonte : une partie de la production de Volavaky est en outre utilisée pour le même objet.

En 1920, le quartz transparent a surtout été produit par la région de Sahamadita (district de Moramanga), le quartz givré par la vallée de la Mianjona et Ranomainty (région de Betafo), le mont Vorondolo et Fasina (région d'Ambositra), Alarobia (région de Soavinandriana), Sahamadita.

Dans les pays à industrie très avancée, comme les États-Unis, le quartz opaque des pegmatites exploitées pour leurs feldspaths ou leurs gemmes est un résidu fructueusement vendu aux verreries. De Madagascar, il ne saurait être question d'exporter un produit d'aussi minime valeur et ce quartz est laissé dans les remblais, à l'exception de la variété rose.

b. — Quartz rose.

Le quartz rose est un sous-produit de l'exploitation des carrières de pegmatites potassiques à béryl. Dans quelques localités, sa couleur est suffisamment belle et sa translucidité assez grande pour qu'il puisse être utilisé comme pierre d'ornementation. Il peut rivaliser avec celui du Brésil. Les gisements de Sahanivotry, de Samiresy doivent être cités comme exemple.

Cette jolie pierre sert à la fabrication de menus objets : coupes, boîtes, figurines, flacons à parfum, encriers, presse-papier, manches de parapluies ou d'ombrelles, grains pour colliers et pour chapelets.

Valeur. — Sa valeur est de 2 fr. 50 à 5 francs le kilogramme.

c. — Quartz améthyste.

L'améthyste qui n'est pas suffisamment transparente pour être taillée en pierres à facettes est utilisée pour les même usages que le quartz rose. Cette améthyste provient surtout des pegmatites. Elle vaut de 20 à 25 francs le kilogramme.

d. — Quartz opalescent.

J'ai rencontré dans la région du mont Bity une variété de quartz présentant un aspect opalescent, mais non plus transparent comme le girasol : il est seulement translucide et d'un blanc laiteux ; plus rarement sa couleur est un peu rosée. J'ai

fait tailler, à l'intention de la collection du Muséum, quelques pierres d'un joli effet; ce minéral pourrait être employé pour les mêmes usages que le quartz rose.

e. — Quartz à inclusions.

Dans un assez grand nombre de gisements de pegmatites, il existe du quartz transparent, renfermant ces longues et fines aiguilles de rutile d'un blond doré désignées sous le nom de *cheveux de Vénus*. Ce quartz à inclusions est très recherché aux États-Unis pour la fabrication des pièces d'ornementation et de bijouterie. Celui des gisements malgaches devrait être avec avantage employé dans le même but.

On pourrait se servir également, pour le même objet, du quartz coloré en bleu par la lazulite qui existe dans les quartzites du mont Bity, du quartz hyalin à inclusions de longues aiguilles de tourmaline noire (Mangily, Miakanjovato, Ambakoana).

f. — Calcédoine, Agate.

Les concrétions siliceuses sont très abondantes dans les basaltes et aussi dans certaines formations sédimentaires de la côte Nord-Ouest et de l'Ouest de l'île. Elles s'y rencontrent éparses à la surface du sol; elles peuvent y être cueillies sans aucune peine. Je ne doute pas que, par la beauté de la matière, ces produits ne puissent rivaliser avec ceux de l'Inde et de l'Amérique du Sud.

Depuis peu de temps, on a commencé à les exporter et l'on s'en sert actuellement pour fabriquer de nombreux bibelots, tels que coupes, boîtes, presse-papier, billes, etc. Ce sont surtout les variétés de couleur homogène grise, brune ou rougeâtre (sardoine), translucides que j'ai vu employer, ainsi qu'une jolie variété laiteuse parfois mouchetée de noir ou de rouge par des inclusions ferrugineuses. On pourrait utiliser aussi les types zonés (agates et onyx), ainsi que ceux qui sont opaques, mais pourvus de belles couleurs, tels que le *plasma* vert poireau [Région d'Analalava Ankorabe[1], Ambohiboa; Ankazoberavina, etc.] et les *jaspes* de différentes teintes.

On commence aussi à rechercher cette calcédoine malgache pour la fabrication de beaucoup de petits objets servant à divers usages : mortiers d'agate, rouleaux pour la mégisserie, polissoirs pour l'industrie des papiers peints, clapets (industrie laitière), buttoirs pour appareils électriques, couteaux de balance, etc. Les objets

1. Et non Ankarobe, comme il a été écrit T. I, p. 217.

de ce genre que fabrique la Taillerie de Royat montrent que les produits de Madagascar sont excellents pour ces usages.

La calcédoine malgache se vend actuellement en moyenne de 2 francs, à 2 fr. 50 le kilogramme.

g. — Production.

Les statistiques du Service des Mines donnent pour l'exportation des diverses variétés de quartz les quantités suivantes :

	QUARTZ LIMPIDE	QUARTZ GIVREUX OU OPAQUE	QUARTZ ROSE	CALCÉDOINE (AGATE)
	kilogrammes.	kilogrammes.	kilogrammes.	kilogrammes.
1908	»	»	5 700	»
1909	2 434	73 738	5 195	»
1910	1 204	27 522	8 116	»
1911	790	5 328	32 985	»
1912	6 968	49 730	9 524	»
1913	3 124	47 014	4 855	»
1914	5 165	31 126	5 869	»
1915	673	5 300	86	»
1916	3 816	13 091	1	»
1917	455	16 621	68	»
1918	117	15 135	»	»
1919	2 039	1 559	41	»
1920	2 596	41 861	18 227	30 000
1921	634	5 464	134	5 001

B. — *Amazonite (Pierre des amazones).*

Les divers types de pegmatites sodo-lithiques malgaches (Anjanabonoina, Imody, Mahabe, environs d'Andina, etc.) renferment en assez grande abondance la variété de microcline appelée amazonite qui se recommande par la variété de ses nuances, oscillant entre le vert bleuâtre et le vert franc. Ce minéral se rencontre en blocs de grande taille utilisables pour la confection de nombreux objets d'ornementation : coupes, manches d'ombrelles et de parapluies, coupe-papier, etc.

Les variétés d'un emploi pratique sont celles dans lesquelles les clivages ne sont pas trop faciles, car dans ce cas leur taille devient difficile.

Valeur. — Le prix de cette pierre varie avec la couleur de 2 à 5 francs et il atteint jusqu'à 10 francs le kilogramme, pour les variétés d'une belle teinte.

Production. — La production, très irrégulière, a été jusqu'ici la suivante ; elle pourrait être beaucoup augmentée :

1908.	1 833 kilogrammes	1915.	» kilogrammes
1909.	950 —	1916.	723 —
1910.	325 —	1917.	50 —
1911.	» —	1918.	» —
1912.	410 —	1919.	» —
1913.	» —	1920.	3 —
1914.	21 —	1921.	3 858 —

C. — Pierre de soleil.

Je ne cite que pour mémoire la variété de feldspath oligoclase, appelée *pierre de soleil :* elle est caractérisée par sa couleur jaune orangé, avec reflets dorés dûs à des inclusions d'hématite régulièrement distribuées ; je l'ai observée dans le gneiss à pyroxène d'Alasora ; c'est une pierre qui mériterait d'être recherchée.

D. — Lazulite.

Il est un minéral qui pourrait peut-être aussi être employé dans le même but,

PRODUCTION

	1906		1907		1908		1909		1910		1911		1912		1913		1914	
	1re catégorie	2e catégorie	1re catégorie	2e catégorie	1re catégorie	2e catégorie	1re catégorie	2e catégorie	1re catégorie	2e catégorie	1re catégorie	2e catégorie	1re catégorie	2e catégorie	1re catégorie	2e catégorie	1re catégorie	2e catégorie
	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.
Tananarive. . .												0,447						
Ankazobe. . . .															0,065		4,257	
Itasy.								12,900		3,190		31,747		62,119	44,368		13,848	230,000
Vakin'Ankaratra..		23,681		79,034		215,950		1 978,084		4 050,115		845,294		39,652	142,044	0,500	132,967	
Fort-Dauphin . .																		
Morondava. . .														31,949	12,209		5,398	
Ambositra. . .		7,052		7,300		21,785		362,874		0,957				2,280	14,881	2,000	20,606	465,000
Fianarantsoa. . .										50,000					0,630		20,758	74,750
Betroka. . . .																		
Tamatave. . . .														0,193				
Andovoranto. . .																		
Vatomandry. . .								0,333				45,200		58,585	3,186			
Nosy Be. . . .																		
Maevatanana. . .																		
Ambilobe. . . .																		
Moramanga. . .																		

c'est la lazulite. Sa couleur bleue lui donne l'apparence du lapis-lazuli, avec une homogénéité plus grande et une teinte plus foncée. J'ai tenté d'en faire tailler quelques objets ; malheureusement, mes échantillons, fendillés, se sont mal polis, mais cet insuccès peut être dû à l'insuffisance du produit essayé et la tentative serait à répéter sur des morceaux sélectionnés.

III. — STATISTIQUE.

A. — *Production totale des gemmes et des pierres d'ornementation.*

Contrairement à ce qui se passe aux États-Unis, où l'exploitation des gemmes et des pierres d'ornementation est poussée plus loin que nulle part ailleurs, les statistiques officielles n'établissent que peu de divisions dans les produits de ce genre qui sortent de la Colonie, de telle sorte qu'il n'est pas possible de fournir des renseignements très détaillés à cet égard. Il y est établi seulement deux caté-

PAR PROVINCE

	1915		1916		1917		1918		1919		1920		TOTAUX
	1re catégorie	2e catégorie	1re catégorie	2e catégorie	1re catégorie	2e catégorie	1re catégorie	2e catégorie	1re catégorie	2e catégorie	1re catégorie	2e catégorie	
	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.
				430,000		11,322					238,320	47,550	513,151
	27,050		43,449		92,956	255,764	119,395	607,105	111,350	293,486	130,749	98,648	1 788,774
	0,439			846,000	4,237		0,812		69,118		20,887	52,635	1 392,300
	14,893		83,740	3 976,090	19,516	1 820,456	12,047	90,354	127,718	27,002	318,954	69,540	14 424,499
										889,230			889,230
											5,599		55,155
	2,669		8,325		8,257	3,500	12,471		44,330	3,270	44,565	2,192	1 034,314
	1,250		12,365	329,000	53,850	14,491			35,966	1,419	98,216	20,000	712,695
				120,000			0,215	50,000	1,925	2 659,600	13,668	1 035,748	3 881,156
		1,500				13,500					15,000		30,000
						13,500	2,256	34,700	4,000	10,000	145,532	693,450	1 010,742
												100,000	100,000
			33,600		14,687		12,330	6,200	59,509		198,095	562,025	886,446
										100,500		225,545	326,045
											3,310	45,070	48,380

gories : la première comprend les véritables *gemmes*, c'est-à-dire les pierres susceptibles d'être employées en joaillerie ; les principales de celles-ci sont les *béryls* et les *tourmalines*.

La deuxième correspond aux *pierres utilisées par l'industrie* ; elle comprend surtout certaines qualités de corindon et de grenats.

Les diverses variétés de quartz font l'objet d'une rubrique spéciale (voir page 117).

Le tableau ci-dessous résume ces données officielles.

<table>
<tr><th></th><th>PREMIÈRE CATÉGORIE
JOAILLERIE</th><th>DEUXIÈME CATÉGORIE
INDUSTRIE</th></tr>
<tr><td></td><td>grammes.</td><td>grammes.</td></tr>
<tr><td>1904</td><td>7 650</td><td>»</td></tr>
<tr><td>1905</td><td>7 500</td><td>»</td></tr>
<tr><td>1906</td><td>10 415</td><td>»</td></tr>
<tr><td>1907</td><td colspan="2">86 533</td></tr>
<tr><td>1908</td><td>155 292</td><td>82 443</td></tr>
<tr><td>1909</td><td>221 416</td><td>2 132 772</td></tr>
<tr><td>1910</td><td>88 633</td><td>4 015 628</td></tr>
<tr><td>1911</td><td>470 144</td><td>452 573</td></tr>
<tr><td>1912</td><td>339 155</td><td>152 490</td></tr>
<tr><td>1913</td><td>217 382</td><td>2 500</td></tr>
<tr><td>1914</td><td>197 834</td><td>769 750</td></tr>
<tr><td>1915</td><td>46 301</td><td>1 500</td></tr>
<tr><td>1916</td><td>186 679</td><td>5 704 090</td></tr>
<tr><td>1917</td><td>144 538</td><td>2 119 033</td></tr>
<tr><td>1918</td><td>159 726</td><td>788 339</td></tr>
<tr><td>1919</td><td>453 915</td><td>3 984 207</td></tr>
<tr><td>1920[1]</td><td>541 000[1]</td><td>2 433 000[1]</td></tr>
<tr><td>1921</td><td>249 072</td><td>15 576 873</td></tr>
</table>

1. Ceci est le total de l'exportation d'après le rapport annuel de M. Evesque, chef du Service des Mines par intérim ; la production a été de 1 029^{kg},681 pour la première catégorie et de 2 925^{kg},312 pour la seconde.

CHAPITRE IV

MÉTAUX RARES ET MICAS

Je réunis sous cette rubrique une série de minerais ou de minéraux qui n'ont pas d'analogie de composition ni d'usage, mais qui présentent la caractéristique commune de se rencontrer dans le même type de gisements, dans des pegmatites.

I. — BISMUTH.

Un minerai de bismuth se rencontre dans un genre de gisement peu fréquent, dans les pegmatites. Originellement, il a été constitué par du bismuth natif ou de la bismuthinite, mais, sauf quelques cas exceptionnels, où le bismuth natif est resté intact, ces minéraux sont transformés en *bismuthosphérite* qui doit être considérée comme le véritable minerai de bismuth à Madagascar : elle titre en moyenne 71 pour 100 de bismuth métallique et ne renferme, en fait d'impureté, qu'une très petite quantité de plomb.

Ainsi que cela arrive pour tous les minéraux des pegmatites, à Ampangabe et à Fefena, qui sont les deux gisements où les gros cristaux épigénisés de bismuthinite ont été trouvés en plus grande abondance, ceux-ci sont en général distribués dans la roche d'une façon très irrégulière ; cependant ils forment parfois des nids assez importants. Pour l'énumération des gisements, voir Tome I, p. 296.

Bien que ce minerai de bismuth soit peu abondant, il a une valeur assez grande et il se trouve en cristaux suffisamment volumineux (souvent plusieurs kilogrammes) pour pouvoir être triés à la main et recueillis.

Production. — Depuis le jour où je l'ai signalé pour la première fois, à Am-

pangabe [53], il n'en a été exporté officiellement que quelques centaines de kilogrammes : 359 en 1913, 126 en 1914, d'après les statistiques.

II. — URANIUM ET MÉTAUX RADIOACTIFS.

A. — *Uranium et radium.*

a. — Propriétés et usages du radium.

La découverte de la radioactivité, après avoir si profondément modifié tant d'idées admises en physique et en chimie et permis d'aborder l'étude des atomes élémentaires eux-mêmes, a suscité des applications chirurgicales d'une importance considérable pour l'humanité, notamment pour le traitement des affections cancéreuses ; elle a rendu impérieuse la recherche de toute une série de minéraux dont naguère le nom même n'était connu que des minéralogistes ; nul ne pouvait alors soupçonner le rôle industriel que ces minéraux jouent aujourd'hui. Là encore l'importance pratique soudainement prise par le résultat d'études purement théoriques doit être soulignée. Là encore, se retrouve un exemple de ce fait que la découverte de gisements nouveaux de substances considérées comme rares et exceptionnelles suit presque toujours de près la mise en évidence de la possibilité d'en tirer un profit matériel.

Le seul côté de cette question qui doive nous occuper ici est la recherche des gisements de minerais de radium et de thorium. Bien étranges et bien exceptionnels sont ces minerais dont le produit utile s'apprécie en milligrammes par tonne. Je pourrais citer telle vaste usine des environs de Paris, dans laquelle on voit chaque jour entrer de nombreux wagons apportant les minerais, le combustible, les réactifs destinés à leur traitement et dont le produit manufacturé sort à la fin de l'année, enfermé dans de petits tubes ne contenant que quelques grammes du sel au pouvoir magique (bromure de radium), mais chacun de ces grammes vaut actuellement près d'un million de francs [1].

Aussi comprend-on que la détermination sur le terrain de tels minerais exige des méthodes d'observation aussi nouvelles dans la prospection minière que la rareté du produit convoité et que les vertus merveilleuses de celui-ci.

Parmi les propriétés qui caractérisent les corps radioactifs, il en est deux qui

1. Actuellement le bromure de radium vaut 950 francs le milligramme, soit 1 775 francs le milligramme de radium-métal.

servent à dépister leur présence dans un minéral et qui, malgré leur délicatesse, peuvent être utilisées jusque dans les pays les plus dépourvus de ressources scientifiques ; la première est leur action sur la plaque photographique et la seconde le pouvoir qu'ils ont de décharger les corps électrisés. Ces deux propriétés servent de base aux deux méthodes d'observation suivantes.

La *méthode radiographique* consiste à placer, dans l'obscurité, le minéral à étudier sur une plaque photographique enveloppée de deux ou trois feuilles de papier noir. Après un temps d'exposition plus ou moins long dépendant de la richesse en corps radioactifs, la plaque développée fournit l'image du minéral qui les contient et cette image est d'autant plus nette que cette richesse est plus grande. Alors que quelques minutes d'exposition suffisent pour donner la radiographie d'un sel de radium pur, pour les minéraux radioactifs, il faut plusieurs heures, parfois même quelques jours.

Si le minéral se trouve dans une gangue, seule est impressionnée la projection des points occupés par lui, à l'exclusion de la roche qui l'englobe. L'action sur la plaque photographique étant notamment en relation avec la distance de celle-ci au produit radioactif, il est bon d'agir à l'aide d'une surface aplanie dont tous les points sont ainsi également rapprochés de la plaque photographique ; on peut aussi se servir du minéral réduit en poudre fine. Si l'on a soin de placer à côté du minerai à essayer un échantillon témoin dont la teneur en substance utile est connue, il est possible d'obtenir une certaine approximation de la valeur de ce minerai, mais ce ne peut être qu'une approximation grossière.

La *méthode électrique* permet au contraire des mesures d'une précision extrême ; elle est basée sur la propriété que possèdent les corps radioactifs de faire perdre aux gaz, et en particulier à l'air, leur pouvoir isolant normal ; ils les rendent conducteurs de l'électricité. On peut mesurer le faible courant ainsi produit à l'aide d'un électromètre, seul ou associé à un quartz piézoélectrique de Pierre Curie, mais ce sont là de délicates expériences de physique qui ne peuvent être réalisées que dans le laboratoire, alors que l'emploi d'un électroscope à feuilles d'or, dont il existe des modèles portatifs, permet de faire, même sur le terrain, une mesure d'un autre ordre qui n'est pas moins précise, celle de la vitesse de décharge de l'électroscope sous l'influence du minéral à essayer réduit en poudre, comparée à celle produite par un corps radioactif connu pris pour unité (habituellement l'on prend pour unité l'oxyde noir d'uranium UO^2). Cette mesure permet de calculer, par comparaison avec des minéraux analysés, la teneur approximative en radium du minéral considéré.

Pour mesurer exactement la teneur en radium d'un minéral, il est nécessaire de procéder à un examen beaucoup plus compliqué, qui est le dosage de l'éma-

nation ; cette méthode permet de doser jusqu'à un milliardième de millimètre cube d'émanation de radium ; $0^{mm^3},6$ étant la quantité d'émanation équivalente à 1 gramme de radium élément.

Seuls renferment du radium, les minéraux contenant de l'uranium ; le radium est considéré comme le résultat de la désintégration de l'atome d'uranium. Dans tout minéral uranifère, les quantités d'uranium et de radium sont directement proportionnelles ; les nombres fournis à cet égard par les divers auteurs ne sont cependant pas absolument concordants, mais il semble bien, d'après les expériences de Rutherford et de Boltwood, qu'une partie de radium corresponde à environ 3 000 000 de parties d'uranium. Toutefois, il faut noter que, d'après les recherches de Mlle Ellen Gleditsch, ce rapport semble n'être exact que pour les minéraux primaires d'uranium ; dans les minéraux résultant de leur décomposition, tels que l'autunite, dans les minerais hydratés de Madagascar, la proportion de radium est plus faible. Comme on exploite des minerais ne renfermant guère que 1 pour 100 d'uranium, on comprend la cause de leur extrême pauvreté en radium.

La plus grande partie du radium est vendue à l'état de chlorure ou de bromure, soit pour les recherches scientifiques, soit pour les usages médicaux (emploi direct ou utilisation de l'émanation) ; mais on s'en sert aussi pour la fabrication d'écrans ou d'objets lumineux par phosphorescence.

b. — Propriétés de l'uranium.

En terminant, je signalerai que dans le traitement des minerais de radium, l'uranium est un sous-produit qui n'est pas sans valeur. Il est utilisé dans l'industrie de la verrerie pour colorer le verre en jaune, avec une belle fluorescence verte quand la proportion d'oxyde d'uranium est suffisante (au moins 15 pour 100).

En céramique, l'oxyde d'uranium fournit des couleurs jaunes, orangées et noires.

Enfin, en métallurgie, l'uranium a été préconisé pour la fabrication d'alliages spéciaux ; leurs propriétés sont assez analogues à celles d'alliages constitués par des métaux moins coûteux, mais le dernier mot n'est peut-être pas dit sur cette question, surtout si le développement de l'industrie du radium jette sur le marché une grande quantité d'uranium qu'il faudra utiliser.

c. — Minerais malgaches.

Les minerais uranifères et, par suite radifères, de Madagascar peuvent être divisés en deux groupes. Le premier comprend des minéraux — et ce sont les plus

abondants — d'origine primaire; ils constituent des éléments anciens de pegmatites potassiques; leur composition est complexe. Un second groupe, au contraire, ne contient que l'autunite (uranocircite), qui s'est formée par la décomposition des premiers, mais par transport à distance.

α. **Minerais primaires.** — Les *minerais primaires* sont essentiellement[1] des niobates (titanifères ou non, avec généralement peu d'acide tantalique) de terres yttriques et d'urane, avec accessoirement des terres cériques, de la thorine, etc. Ce sont les espèces suivantes : la *fergusonite*, l'*euxénite*, la *samarskite*, la *blomstrandite* et trois minéraux spéciaux à Madagascar, la *betafite*, la *samiresite* et l'*ampangabéite* (Cf. Tome I, page 372 à 392). Tous ces minéraux possèdent un même air de famille caractérisé par l'éclat gras et très réfringent de leur cassure. Si leur détermination n'est pas toujours aisée pour les spécialistes, *a fortiori* est-elle difficile pour le prospecteur. Il importe donc de donner à celui-ci le moyen pratique de les distinguer les uns des autres, à l'aide de caractères facilement observables, avec les moyens restreints dont ils disposent sur le terrain. Ces minéraux ont en effet une valeur marchande inégale par suite d'une inégale teneur en uranium (radium) et il est indispensable que les producteurs puissent effectuer un triage sur place, afin d'éviter des mécomptes dans la vente de leurs produits.

La marche suivante me paraît la meilleure pour arriver à un rapide diagnostic. Elle consiste à examiner successivement les caractères suivants :

1° La *forme géométrique* des cristaux, qu'avec un peu de bonne volonté on peut toujours trouver dans un gisement donné, conduit à diviser ces minéraux en trois groupes.

a. *Quadratique*. La fergusonite se présente en pyramides quadratiques très aiguës (Tome I, Pl. 15, fig. 1).

b. *Orthorhombiques*. L'euxénite et la priorite surtout, la samarskite fréquemment, l'ampangabéite plus rarement, se présentent en prismes orthorhombiques ayant une face d'aplatissement très marquée (Pl. 14 à 16). Il est à noter la fréquence des groupements à axes parallèles de cristaux d'ampangabéite brun rouge et de columbite noire.

c. *Cubiques*. La betafite, la samiresite et la blomstrandite se trouvent presque toujours en cristaux distincts, octaèdres ou rhombododécaèdres réguliers et souvent combinaison des deux (Tome I, Pl. 16, fig. 6 à 8 et Pl. 17). Ces cristaux sont soit isolés et implantés sur du mica, soit groupés pour former des masses souvent énormes (Tome I, Pl, 16, fig. 5), contrairement à ce qui arrive pour

1. La pechblende n'a pas été rencontrée à Madagascar.

les autres minéraux qui généralement ne se trouvent qu'à l'état de cristaux isolés.

2° Tous ces minéraux sont *infusibles* au chalumeau, à l'exception de la samarskite et de l'ampangabéite, assez riches en fer; ce caractère permet de les distinguer de l'euxénite dont la forme géométrique est voisine;

3° Tous ces minéraux présentent une caractéristique commune, c'est de renfermer une *quantité plus ou moins grande d'eau*, due à une altération, conséquence de leur présence dans la zone latéritisée. La teneur en eau est inégale; en moyenne, elle est beaucoup plus grande dans la betafite et l'ampangabéite (généralement de 10 à 12 pour 100) que dans les autres niobates.

Cette hydratation modifie beaucoup des propriétés physiques de ces minéraux, couleur, densité en particulier. De plus, si, à l'état anhydre, tous ces minéraux résistent à l'action des acides, une fois hydratés, ils sont attaqués par ceux-ci et d'autant plus facilement qu'ils sont plus riches en eau;

4° La *couleur* normale de la fergusonite est le jaune plus ou moins foncé; le minéral est translucide sur les bords. L'euxénite, la priorite et la samarskite sont d'un noir de poix, opaques et assez durs ; leur cassure est conchoïde ; quand elles s'hydratent, elles deviennent plus ou moins jaune brunâtre ; elles sont alors fragiles.

La betafite et la blomstrandite sont d'un brun vert et tirent plus ou moins sur le jaunâtre par hydratation; la samirésite a souvent la couleur de la gomme gutte.

Deux minéraux ne doivent pas être confondus avec l'euxénite et la samarskite dont ils possèdent la couleur noire et l'éclat gras. C'est la *tscheffkinite* et l'*orthite* qui se trouvent aussi dans les pegmatites; ces minéraux sont moins denses, ils s'attaquent très aisément par les acides *en donnant une gelée de silice*; la tscheffkinite est extrêmement riche en titane; l'orthite en renferme peu ou n'en contient pas du tout;

5° L'intensité de la *radioactivité* donne des indications précieuses pour la détermination de ces minéraux, mais elle ne suffit pas à elle seule, car, dans un même minéral provenant de gisements différents, la teneur en uranium (et en thorium) et par suite la radioactivité subissent de grandes variations. Il n'existe pas de rapport moléculaire constant entre l'uranium et les autres éléments autres que le radium. Il faut noter en outre que la radioactivité s'abaisse avec la teneur en eau et que celle-ci n'est pas constante pour les divers échantillons d'un même gisement. Je donne plus loin une série de mesures faites sur un certain nombre d'échantillons de ces divers minéraux provenant de localités différentes. On peut voir que, d'une façon générale, la betafite est plus radioactive que l'ampangabéite, celle-ci que l'euxénite et que la samarskite.

Le tableau ci-contre résume les propriétés les plus caractéristiques des minéraux qui nous occupent :

	COULEUR		DENSITÉ		TENEUR EN H_2O	AU CHALUMEAU	RÉACTION DE TiO_2 (morphine)	RADIO-ACTIVITÉ (décroît avec teneur en H_2O)
	NORMALE	PAR HYDRATATION	NORMALE	PAR HYDRATATION				
QUADRATIQUE								
Fergusonite.	Jaune.	Jaune.	5,8	5,58-4,98	1,9- 5,2	Infusible.	0	0,41-0,21
ORTHORHOMBIQUES								
Samarskite.	Noire.	Jaune brun.	5,8-5,6	5,17-4,25	3,6-11,1	Fusible sur les bords.	Nulle ou faible.	1-0,24
Ampangabéite.	?	Brun ± rouge.	?	4,64-3,34	6,0-11,5		Forte.	0,85-0,44
Euxénite.	Noire.	Brune ou jaunâtre.	4,9-4,6	4,89-4,59	3,9- 4,3	Infusible ou à peine fusible sur les bords.	Très forte.	0,67-0,23
CUBIQUES								
Betafite.	?	Brun vert à jaune.	?	4,47-3,75	5,2-12,50	Fusible sur les bords (émail noir).	Forte.	1-0,37
Blomstrandite.	?	Id.	?	4,74	9,60			0,62
Samiresite..	?	Jaune.	?	5,24	12,45			0,71-0,52

Analyse des niobates uranifères.

Peut-être ne sera-t-il pas inutile de donner ici une marche analytique sommaire permettant de décéler assez facilement les nombreux corps qui entrent dans la constitution des minéraux de ce groupe.

Leur caractéristique commune réside dans ce que le produit de leur fusion avec le bisulfate de potassium, traité par l'eau glacée, laisse un résidu blanc de Nb^2O^5 et de Ta^2O^5. Ce résidu soigneusement lavé, puis traité par le zinc, en présence de l'acide sulfurique, donne une coloration d'un bleu intense persistante et caractéristique du niobium. La liqueur résultant de la dissolution de ces acides dans l'acide fluorhydrique, additionnée d'un peu de fluorhydrate de fluorure de potassium, puis concentrée, donne des aiguilles de fluotantalate de potassium, s'il existe du tantale, alors que la liqueur décantée précipite en orangé par la teinture de noix de galle (niobium).

Si le titane est présent (euxénite, betafite), la solution débarrassée par filtration de

Nb^2O^5 et de Ta^2O^5 (retenant généralement un peu de titane), se colore en jaune par addition de bioxyde de sodium (ou d'eau oxygénée). Le titane est alors précipité par une longue ébullition[1].

La solution filtrée, additionnée d'ammoniaque, laisse déposer tous les métaux intéressants à déterminer, à l'exception du calcium (qui doit être décelé par l'oxalate d'ammonium) et des alcalis ; ceux-ci doivent être recherchés par un essai spécial.

Ce précipité (I) fourni par l'ammoniaque est dissous dans HCl (sans excès) et additionné d'acide oxalique qui donne un précipité (II) contenant cérium, thorium, yttrium, zirconium et laisse en dissolution : uranium, aluminium et fer.

Le précipité (II) est alors lavé et débarrassé du zirconium par un excès d'acide oxalique, puis calciné et dissous dans HCl. Cette dissolution est additionnée d'un excès de cristaux de sulfate de potassium ; au bout de quelque temps, le cérium et le thorium mélangés à l'excès du réactif sont précipités. La séparation du cérium et du thorium se fait dans la dissolution de ce précipité dans beaucoup d'eau bouillante, additionnée d'un peu d'HCl ; une petite quantité de bioxyde de sodium (ou d'eau oxygénée) fournit un précipité blanc, gélatineux, de thorine.

Cette précipitation[1] doit être faite avec soin, car un excès du même réactif donne un précipité orangé de terres cériques. La solution ainsi débarrassée du cérium et du thorium donne, avec l'acide oxalique, un précipité des terres yttriques.

La solution séparée du précipité[2] est alors traitée par un excès de potasse caustique qui précipite l'uranium et le fer. Ce précipité, additionné d'un excès de carbonate d'ammonium, laisse dissoudre l'uranium en fournissant une solution jaune dont l'uranium est précipité par l'ébullition.

Après acidification par HCl de la liqueur privée d'urane et de fer, l'alumine est précipitée par le carbonate d'ammonium.

Mesure de la radioactivité.

Bien souvent, m'ont été soumis des échantillons de minéraux radioactifs de Madagascar dont la radioactivité, déterminée par des opérateurs différents, avait fourni des résultats qui n'étaient pas identiques. J'ai demandé moi-même à plu-

1. S'il existait un peu de zircone, celle-ci devrait être précipitée par le phosphate de sodium de la solution sulfurique du précipité titanifère additionné de bioxyde de sodium.

2. On peut rappeler que l'oxalate de thorium est soluble dans un excès d'oxalate d'ammoniaque ; cette propriété peut être utilisée pour reconnaître le thorium dans un précipité d'oxalates de terres rares.

sieurs reprises à des savants qualifiés d'effectuer des mesures sur des échantillons de nos collections et l'opération, répétée par des personnes différentes, n'a pas toujours fourni des résultats concordants ; il m'a donc paru nécessaire d'étudier une méthode qui fournisse des résultats comparables.

Après m'être enquis des méthodes employées dans le laboratoire de Mme Curie et dans celui de spécialistes avertis, tels que M. Muguet, nous nous sommes arrêtés au mode opératoire qui va être indiqué ci-dessous. Mon préparateur, M. J. Orcel, a repris, avec le plus grand soin et strictement suivant les mêmes méthodes, les mesures effectuées sur les échantillons de notre collection ; il a été possible ainsi d'avoir une opinion sur les causes des discordances des nombres observés antérieurement.

Principe de la mesure. — Les mesures sont faites à l'aide de l'électroscope à feuille d'or construit pour cet usage par l'industrie. Comme il a été dit page 123, la vitesse de décharge sous l'influence du minéral à essayer est comparée à celle produite par l'oxyde noir d'uranium, pris pour unité. Cette comparaison doit être effectuée sur des surfaces identiques du minéral et de l'étalon. Lorsque le minéral ne renferme que de l'*uranium* et du *radium* et quand la couche employée ne dépasse pas un millimètre d'épaisseur, les variations d'épaisseur de cette couche ont peu d'influence sur les résultats obtenus, mais si le minéral renferme du *thorium* — et c'est le cas d'un grand nombre de minéraux de Madagascar —, la quantité de matière employée influe dans une très large proportion sur les résultats. Pour avoir des nombres constants, il est nécessaire d'opérer sur une couche mince.

Les mesures indiquées plus loin ont été effectuées sur un gramme de poudre du minéral, réparti sur une surface circulaire de 5 centimètres de diamètre.

Comme support de la poudre et de l'oxyde-étalon, il est fait usage de deux disques de laiton creusés d'une cavité cylindrique de 5 centimètres de diamètre et de 1 millimètre de profondeur.

Préparation de l'étalon. — L'oxyde noir d'uranium est soigneusement porphyrisé au mortier d'agate. Il est mis ensuite en suspension dans le chloroforme, l'éther ou tout autre liquide organique volatil : le tout est versé, par faibles portions, sur le disque de laiton auquel sont imprimées de petites secousses, afin de répartir uniformément la matière. Peu à peu l'on remplit ainsi complètement la cavité du disque ; après évaporation, la surface obtenue doit être plane et ses bords parfaitement nets.

Le disque est ensuite porté à l'étuve, à une température qui ne doit pas dépasser $+60$ à 70°C.

Préparation du minéral. — Un gramme du minéral finement pulvérisé est réparti dans la cavité du second disque avec les mêmes précautions que dans l'opération précédente ; la dessiccation doit être faite à environ $+70$°C., et rapidement, car un chauffage prolongé, et à une température plus élevée, pourrait affaiblir la radioactivité.

Après chaque mesure, le disque doit être soigneusement lavé et séché ; il doit être toujours maintenu dans un état de poli parfait.

Réglage du micromètre. — Pour une même série de mesures, l'oculaire micrométrique doit être maintenu fixe et la vitesse de chute mesurée sur le plus grand nombre possible de divisions. Il faut que la même portion de la feuille reste en coïncidence avec l'échelle micrométrique

pendant toute la durée de la mesure ; comme le bord de cette feuille n'est jamais absolument rectiligne, l'on doit incliner l'échelle micrométrique et la placer perpendiculairement à la position moyenne de la feuille dans l'intervalle utilisé.

Mesures. — La vitesse v de chute à vide est tout d'abord déterminée ; cette vitesse étant en général très petite, pour ne pas prolonger l'opération, on peut l'effectuer sur un trajet de 5 à 10 divisions seulement [1].

On mesure la vitesse v_1 de chute après l'introduction de l'étalon dans la chambre d'ionisation [2].

La même mesure est faite ensuite avec la poudre du minéral. Elle donne la vitesse v_2 due à celle-ci.

Cette seconde opération est répétée de 5 en 5 minutes. Si, en effet le minéral ne renferme que de l'uranium et du radium, la décharge se fait rapidement et complètement, mais s'il renferme du thorium, l'émanation de cet élément met un certain temps à se dégager, l'état de saturation de la cage n'est pas immédiatement atteint. On doit donc déterminer la vitesse de chute de la feuille à intervalles de temps réguliers jusqu'à ce qu'on obtienne une valeur constante [3]. Dans ce cas, la vitesse de chute à vide a augmenté (radioactivité induite) et l'on ne doit jamais négliger de faire à nouveau sa détermination, car une augmentation nette de cette vitesse est un signe certain de la présence du thorium [4] ; dans ce cas, il est nécessaire d'indiquer les valeurs initiale et limite de l'activité.

La radioactivité r du minéral se déduit facilement de ces mesures, celle de l'étalon de l'oxyde d'uranium étant prise pour unité, on a

$$\frac{1}{r} = \frac{v_1 - v}{v_2 - v}, \text{ d'où } r = \frac{v_2 - v}{v_1 - v}.$$

Remarques. — Les valeurs données plus loin correspondent à des mesures effectuées sur des échantillons très purs, avec toutes les précautions qui viennent d'être indiquées ; ce sont donc des données précises, de caractère scientifique, spécifiant le cristal étudié. Mais dans la pratique, et particulièrement lorsqu'il s'agit d'apprécier la valeur d'un lot de minerai, il faut tenir compte des deux considérations suivantes :

Dans un même gisement, tous les cristaux d'un même minéral n'ont pas rigoureusement la même activité, d'une part parce que leur composition n'est pas nécessairement constante [5] et d'une autre parce que la radioactivité varie avec le degré d'hydratation, due à des actions secondaires, et celle-ci peut n'être pas la même d'un échantillon à un autre. L'observation a montré par

1. Cette vitesse peut atteindre et même dépasser 0,1 division par seconde ; mais si l'on mesure souvent des substances très radioactives, elle peut atteindre 0,3 à 0,4 division. Elle n'est donc pas négligeable.

2. Pour une série de mesures, faites dans une même journée, il est suffisant de mesurer une fois pour toutes la vitesse de chute de la feuille pour l'étalon.

3. L'activité augmente pendant les premières minutes pour atteindre une valeur limite en un quart d'heure environ.

4. Après la mesure d'un minéral renfermant du thorium, il faut attendre pour effectuer une autre détermination que la vitesse de chute à vide de la feuille d'or ait repris sa valeur initiale.

5. A fortiori, dans des échantillons d'un même minéral, provenant de localités différentes, ces variations chimiques peuvent être fort importantes. Le tableau donné plus loin montre ce fait d'une façon particulièrement nette pour les extrêmes de chaque série.

Il ne faut pas oublier que dans tous les minéraux radioactifs de Madagascar, l'uranium peut être remplacé par d'autres métaux et que, théoriquement, il n'existe pas de valeur fixe pour cet élément ; on connaît, en dehors de Madagascar, des fergusonites et des euxénites qui ne sont presque pas uranifères.

exemple, qu'un cristal de betafite brun verdâtre (Ambatolampikely) possède une radioactivité de 0,84 dans sa partie centrale, alors que le bord, de couleur jaune et plus hydraté, n'a qu'une radioactivité de 0,60.

En conséquence, pour obtenir la valeur moyenne d'un lot de minerai radioactif, il ne faut plus faire la mesure sur un seul cristal choisi spécialement à cet effet, il est indispensable de prendre dans les différentes parties du lot considéré de nombreux cristaux qui sont pulvérisés ensemble et c'est sur leur poudre bien brassée que doivent être prélevées deux ou trois prises d'essai, sur lesquelles seront effectuées les mesures.

Dans le cas où les conditions locales ne permettraient pas de prendre toutes les précautions qni viennent d'être indiquées, il faut chercher à s'en rapprocher le plus possible. Ce sont elles qui conduisent aux valeurs les plus élevées.

Betafite. — Ambatovohangy, 1,00 (centre brun) ; Sama, 0,97 ; Antanifotsy, 0,93 ; Ambatolampikely, 0,92 à 0,60 ; Andibakely, 0,91 ; 1 kilomètre Sud-Ouest de Mananjary, 0,82 ; Befanala, 0,81 ; Sud Tampanala, 0,77 ; Ambolotora, 0,72 ; Ambatofotsy, 0,69 ; 4 kilomètres Ouest Antsirabe, 0,66 ; Nord-Est Ambatomanga, 0,64 (jaune très hydraté) ; Ranomafana, 0,63 ; Fiadanana, 0,37.

Blomstrandite. — Tongafeno, 0,62.

Samirésite. — Fefena, 0,71 ; Samiresy, 0,52.

Ampangabéite. — Tongafeno, 0,85 ; Ampangabe, 0,65 ; Miakanjovato, 0,65 ; Andilana, 0,55 ; Ambatofotsikely, 0,44.

Samarskite. — Fefena, 1,00 ; Miakanjovato, 0,53 ; Ambatofotsikely, 0,43 ; Manendrika, 0,36 ; Ambohidratanana, 0,24.

Euxénite. — E. Soavinandriana, 0,67 ; Ambolotara, 0,59 ; Ouest Miandrarivo, 0,57 ; Fiadanana, 0,51 ; Ranomafana, 0,47 ; Samiresy, 0,45 ; Bekily, 0,40 ; 1 kilomètre Nord Ambalamafana, 0,40 ; Ambatofotsy, 0,38 ; Samiresy, 0,37 ; Ampatrana, 0,36 ; Mont Vohambohitra, 0,35 ; Tetehina, 0,34 ; Nord-Ouest Miandrarivo, 0,29 ; Miakanjovato, 0,29 ; Andibakely, 0,28 ; Ambohitankely, 0,25 ; Morarano, 0,24 ; Est Ankazobe, 0,23.

Priorite. — Ambatofotsy, 0,24 ; Mont Ampanobe, 0,23 ; Ambedabao, 0,19.

Fergusonite. — Miakanjovato, 0,41 ; Sud-Est Ambatofotsikely, 0,39 ; Fiadanana, 0,31 ; Ranomafana, 0,24 ; Beforona, 0,21.

D'autre part, M. Muguet[1] a bien voulu effectuer le dosage de l'urane dans

1. M. Muguet a donné quelques mesures effectuées sur des minerais malgaches (*La Radioactivité et les principaux corps radioactifs*, Paris, 1917, p. 119).

quelques-uns de mes échantillons dont la radioactivité a été mesurée en même temps ; les valeurs obtenues sont les suivantes :

		r	U^3O^8 %	$\frac{U^3O^8}{r}$ (1)
Betafite.	Ambatovohangy.	0,80	26,60	33,00
—	Ambatofotsy.	0,67	23,50	35,00
—	Fiadanana.	0,69	20,30	29,00
Euxénite.	Fiadanana.	0,49	10,95	22,00
—	Ouest Miandrarivo..	0,19	»	»
—	Est Ankazobe.	0,28	4,05	14,50
Samarskite.	Fefena.	1,00	23,65	23,00
—	Ambohidratanana.	0,30	3,25	11,00
Ampangabéite.	Miakanjovato.	0,59	14,10	24,00
Fergusonite.	Sud-Est Ambatofotsikely. . . .	0,28	6,26	22,00
—	Beforona..	0,24	»	»

Gisements exploités.

α. **Minerais primaires.** — Ceci étant posé, les deux minéraux jouant actuellement un rôle économique sont la *betafite* et l'*euxénite,* mais, à ma connaissance, la betafite seule a alimenté une exploitation suivie et fourni un tonnage important. Je ne connais pas de gisement d'euxénite pouvant se suffire à lui-même, mais je pense qu'on pourrait se procurer une assez grande quantité de ce minéral en réunissant la production des gisements d'une même région, où il se trouve parfois comme sous-produit d'une autre exploitation, de béryl par exemple (Cf. la liste de ces gisements à l'article pegmatites et T. I, p. 386).

Le gisement le plus important à signaler au point de vue industriel pour la betafite est celui d'Ambatofotsy (T. I, page 379); d'après les renseignements que m'a fournis M. Dreyfus qui l'exploite, une tranchée de 36 mètres de long sur 16 mètres de hauteur a entaillé un filon complexe de pegmatite se trouvant dans le gneiss. On a observé, en allant du Nord-Ouest au Sud-Est, une zone essentiellement formée de quartz et de biotite altérée, renfermant une grande quantité de gros cristaux de betafite groupés ; un bloc de ce genre à lui seul pesait 105 kilogrammes. Ces groupes de cristaux et de betafite sont souvent traversés par des cavités tubulaires à section hexagonale représentant la place de prismes de béryl disparus (tome I, Pl. 16, fig. 5). On a rencontré ensuite deux veines ou amas de quartz enfumé, blanchi aux affleurements, entouré par des lamelles altérées de biotite englobant elle-même des cristaux de betafite. Autour

1. Les variations de ce rapport sont sans doute dues aux transformations chimiques subies par les minéraux par suite de leur hydratation ; ce rapport a un intérêt pratique pour les prospecteurs ; en multipliant par lui l'activité d'un échantillon, on obtient une valeur approximative de sa teneur en U^3O^8.

de la masse quartzeuse, située le plus au Sud-Est, la betafite est associée à des cristaux de malacon qu'accompagne une petite quantité d'uranothorite.

Un fait, qui paraît constant, est l'aspect enfumé du quartz quand celui-ci est associé à la betafite et il semble que cette couleur soit due aux radiations du radium. En outre de ces gros cristaux de betafite, ce gisement a fourni, surtout au début de l'exploitation, une grande quantité de petits cristaux du même minéral. D'après les indications que m'a fournies M. Dreyfus, il a été extrait jusqu'ici de ce gisement environ 20 tonnes de cristaux de betafite. La pegmatite très altérée est désagrégée au pic, les gros cristaux triés à la main, les petits extraits par lavage.

A Amparitena (4 kilomètres Est d'Ambatofotsy), il vient d'être extrait 3 tonnes de betafite en blocs dont l'un pèse 67 kilogrammes ; ce minéral est, là aussi, concentré autour du quartz d'une pegmatite à éléments gigantesques.

Une prospection est faite actuellement à Sama sur un gisement découvert par M. Florens et dont j'ai décrit les cristaux ; d'après les renseignements que je dois à M. Costes, les conditions de gisement sont analogues à celles qui viennent d'être indiquées. La betafite accompagnée, en un seul point, par de très gros cristaux d'orthite est concentrée au voisinage d'amas de quartz enfumé ou de biotite verdie. Une tranchée de 60 mètres de longueur, 12 mètres de large et 7 à 8 de profondeur a été ouverte dans la pegmatite ; la tourmaline y est rare, le béryl plus rare encore.

β. **Minerai secondaire**[1]. — L'autunite et l'uranocircite[2] forment souvent des enduits à la surface ou au voisinage des niobates d'uranium, mais elles ne constituent alors qu'un accident minéralogique sans intérêt économique ; il n'en est plus de même pour le curieux gisement de Vinaninkarena qui a été longuement décrit, au point de vue de sa nature et de son origine dans le tome I (page 361) et dans lequel l'autunite (uranocircite)[2] se trouve disséminée en paillettes dans les couches tourbeuses des alluvions de la Fitamalama.

En 1911, M. Helson m'a fait visiter la petite usine dans laquelle il essayait de concentrer l'autunite à l'aide de tables à secousses. Le minerai tourbeux trié renferme environ 0,5 pour 100 d'oxyde d'urane. Le traitement permettait de l'enrichir jusqu'à 8 ou 10 pour 100, mais avec une perte d'une grande quantité de matière utile ; l'autunite a bien une densité un peu supérieure à 3, mais sa structure lamellaire permet aux petites paillettes de flotter sur l'eau ; de plus, ainsi que je l'ai indiqué

1. La *carnotite* (vanadate d'uranium et de potassium) imprégnant des grès dans l'Ouest américain et constituant le minerai principal d'uranium et de radium au delà de l'Atlantique n'est pas connue à Madagascar.

2. J'ai indiqué à la page 360 du tome I que toutes les autunites malgaches sont barytifères, l'examen plus approfondi du minéral de Vinaninkarena conduit à le considérer comme plus rapproché de l'*uranocircite* que de l'autunite.

à la description de ce minéral, une certaine quantité de phosphate d'uranium semble exister dans la tourbe à l'état colloïde et elle est perdue par le lavage.

Cette exploitation est presque abandonnée; il semble qu'elle pourrait être reprise, à condition de faire ce qui a été essayé pour les gisements portugais d'autunite dans le granite, je veux dire à condition d'effectuer un premier traitement chimique sur place qui permettrait d'exporter le radium sous un petit volume, à l'état de sulfate entraîné par le sulfate de baryum.

e. — Production.

D'après les indications du Service des Mines, la statistique de la sortie des minerais de Madagascar a été la suivante :

1912	11 kilogr.	1917	7 280 kilogr.
1913	5 000 —	1918	»
1914	8 861 —	1919	10 146 —
1915	1 909 —	1920	5 149 —
1916	1 229 —	1921	5 941 —

La même statistique porte sous le nom de *terres uranifères*, les alluvions (lavées) à autunite de Vinaninkarena.

1909	500 kilogr.	1912	846 kilogr.
1910	2 491 —	1913	103 —
1911	29 124 —	1921	3 822 —

d. — Valeur des minerais.

La valeur d'un minerai de radium est généralement estimée d'après sa teneur en U^3O^8, permettant, comme je l'ai indiqué plus haut, d'apprécier la quantité de radium qu'il renferme, réserve faite du mésothorium qui peut l'accompagner. Les prix payés pour les minerais de Madagascar ont oscillé entre 20 et 60 francs par unité de U^3O^8.

On a vu tome I que la teneur de U^3O^8 des échantillons analysés oscille entre les valeurs suivantes :

Betafite	17,7 à 28,0 °/₀.	U^3O^8
Ampangabéite	12,5 —	»
Samarskite	8,7 à 20,2 —	»
Euxénite	6,0 à 14,3 —	»
Fergusonite	2,0 à 6,7 —	»

Le minerai se vend quelquefois d'après sa teneur en radium, l'unité étant alors le milligramme par tonne, les cours estimés sur cette base ont été de 100 à 200 francs par unité (minerai vendu dans un port français).

Certaines betafites ont été payées jusqu'à 15000 francs la tonne.

La difficulté que les minerais malgaches primaires ont eu à se faire une place sur le marché paraît tenir à deux causes, d'une part à leur nature spéciale qui a exigé l'institution d'un traitement chimique nouveau et plus complexe que celui en usage pour l'autunite et la carnotite, et d'une autre à la présence d'une petite quantité de thorium. Comme on le verra plus loin, la désintégration de celui-ci fournit le mésothorium dont la radioactivité s'ajoute à celle du radium. Les essais rapides utilisés pour la détermination de la radioactivité des minerais ne permettent pas de faire le départ de ce qui revient dans celle-ci à chacun de ces deux corps et la séparation du radium et du mésothorium est actuellement impossible ; or la durée de l'activité du mésothorium étant moindre que celle du radium, il en résulte que les sels de radium contenant du mésothorium sont condamnés à un affaiblissement de radioactivité avec le temps et par suite à une diminution de valeur commerciale, surtout quand ces sels sont vendus pour l'usage médical.

B. — *Thorium et cérium.*

a. — Thorium.

α. **Propriétés et usages du thorium.** — La découverte de la propriété qu'ont les oxydes de terres rares de produire une vive incandescence, quand ils sont portés à une température suffisante, a rendu pratiquement utilisables un certain nombre de données minéralogiques qui avaient été réunies dans un but de science pure. En même temps, là encore, le besoin a fait découvrir en abondance des minéraux considérés jusqu'alors comme de grandes raretés, simples curiosités minéralogiques.

Cette histoire est celle des minéraux de thorium et de cérium.

Vers 1883, les manchons à incandescence apparurent pour la première fois sur le marché des produits servant à l'éclairage. Leur fabrication était basée sur la propriété que possèdent les fils de coton imprégnés d'une solution de sels de lanthane et de zirconium de donner, par leur combustion, un squelette d'oxydes, prenant et conservant une vive incandescence sous l'action de la flamme du gaz. Cette découverte, résultat de longues recherches sur l'incandescence des corps solides placés dans les flammes, a fait l'objet d'un grand nombre d'études qui, de perfectionnements en perfectionnements, ont conduit à la formule d'Auer, dans laquelle, aux oxydes qui viennent d'être indiqués, a été substituée la thorine, additionnée de 1 pour 100 d'oxyde de cérium : cette faible proportion d'impureté suffit pour accentuer considérablement le rendement de la thorine pure. Le coton constituant le support des oxydes fut successivement remplacé par la ramie, puis par la soie artificielle, seule employée aujourd'hui.

Le thorium n'est pas seulement recherché pour la fabrication des manchons à incandescence ; ce corps doit être aussi rangé parmi ceux qui sont utilisables au point de vue de la radioactivité. Il n'est pas radioactif lui-même, mais, à la façon de l'uranium, il se désintègre pour fournir deux variétés de *mésothorium* dont l'une fournit à son tour le *radiothorium* ; la radioactivité de ce dernier est supérieure à celle du radium lui-même. On sait aujourd'hui l'extraire par l'intermédiaire du *mésothorium*.

Les sels de mésothorium sont employés pour les mêmes usages médicaux que les sels de radium. Leur fabrication n'existe pas, à ma connaissance, en France ; toute la production paraît provenir d'Allemagne : le prix de vente est d'environ la moitié de celui du radium, mais comme je l'ai fait remarquer plus haut, l'activité des sels de mésothorium s'atténuant rapidement avec le temps, cela compense cette différence de prix.

β. **Minerais de thorium.** — Le thorium existe en petite quantité dans un grand nombre de minéraux. Pendant longtemps, un seul a été connu, le renfermant en proportion importante, c'est la *thorite* et sa variété l'*orangite*, qui contiennent de 48 à 72 pour 100 de thorine. J'ai assisté jadis à la chasse effectuée pendant quelques mois dans les collections pour trouver des échantillons de ce minéral dont la valeur avait atteint plus d'un millier de francs le kilogramme. Mais l'industrie nouvelle se développant rapidement, il a été bien vite reconnu que ce minéral riche ne pourrait suffire à la demande et l'on s'est rabattu sur des minerais pauvres.

On a remarqué alors que les analyses de beaucoup de *monazites* indiquaient la présence d'une petite quantité de thorine. Des recherches nouvelles furent faites et il fut constaté que le précieux oxyde y était constant, mais en proportion variable pouvant atteindre jusqu'à 10 pour 100. On a vu tome I (p. 344) que la monazite, essentiellement constituée par un phosphate de terres cériques, se rencontre à l'état accidentel, dans certaines pegmatites sous forme de gros cristaux, mais le même minéral se trouve aussi en petits cristaux, d'un jaune orangé, de la grosseur d'une tête d'épingle au plus, dans les alluvions des rivières de certaines régions gneissiques et granitiques. En 1895, sous l'empire de besoins croissants, les recherches se firent plus actives et l'on découvrit sur les côtes du Brésil, de vastes gisements de *sables monazités*. Il en a été trouvé depuis lors dans la Caroline du Nord, dans l'Inde et dans bien d'autres régions. L'accumulation de ces infiniment petits constitue actuellement la source unique d'où est extraite la thorine. On en traite plus de 3000 tonnes par an. Le sable, débarrassé par les procédés hydrauliques habituels de ses minéraux légers, est traité ensuite par un procédé

électro-magnétique qui permet d'attirer successivement, grâce à l'emploi de champs magnétiques d'intensité croissante, la magnétite, l'ilménite, le grenat et enfin la monazite, en laissant le zircon comme dernier produit, non attirable.

On estime, qu'au point de vue radioactif, une tonne de monazite renferme environ l'équivalent de $2^{mg},5$ de bromure de radium ; c'est en grande partie du radiothorium, associé à une petite quantité de radium.

Minerais malgaches. — On a vu à la page 350 du tome I que nombreuses sont à Madagascar les alluvions aurifères contenant de la monazite.

Des essais d'électrotriage effectués sur les alluvions du Mananjary [41] ont permis à M. Garivier d'extraire un produit à 10 pour 100 de thorine, identique, comme composition et aspect, à la monazite du Brésil (sable jaune d'or). Il n'a pas été donné suite à ces recherches qui seraient à reprendre et à généraliser.

La récolte des gros cristaux de monazite trouvés dans les exploitations de béryl pourraient fournir aussi une certaine quantité de minerai.

L'attention des prospecteurs doit être appelée aussi sur la *thorianite* (Tome I, page 245), sur l'*orangite* et l'*uranothorite* (Tome I, page 242 et *Appendice*), aujourd'hui simples curiosités minéralogiques qui deviendront peut-être un jour des minerais intéressants de thorium, si leurs gisements, une fois explorés, se montrent suffisamment riches.

Enfin le thorium existe dans la plupart des niobates d'uranium malgaches et leur traitement rationnel permettra probablement de le récupérer.

En attendant, seule la monazite peut être considérée actuellement comme minerai usuel de thorium ; voici la teneur d'échantillons provenant de gisements pris pour exemple : les premiers analysés par M. Arsandaux, les autres par M. Raoult.

	ThO_2
Mananjary (alluvions)	10 °/o
Ambatofotsikely	6,62
Tsarasaotra	4,21

γ. **Essai des monazites.** — Il est bon de donner ici l'indication du procédé Wyrouboff et Verneuil qui permet de reconnaître et en même temps de doser la thorine dans une monazite.

Le minéral est attaqué par l'acide sulfurique qui est ensuite évaporé jusqu'à consistance sirupeuse, puis additionné d'eau glacée ; les terres rares sont alors précipitées par l'acide oxalique. Les oxalates sont transformés en nitrates. Ceux-ci sont dissous dans l'eau et la thorine seule est précipitée par l'eau oxygénée. Elle est ensuite transformée en azotate dont la solution azotique est évaporée à sec au

bain-marie. Cet azotate est redissous dans l'eau et reprécipité par l'eau oxygénée, l'opération est répétée jusqu'à ce que l'hydrate de peroxyde de thorium précipité soit parfaitement blanc; la calcination de celui-ci donne de la thorine pure qui est pesée.

c. — Cérium.

α. **Propriétés et usages.** — Le traitement de grandes quantités de monazite pour l'extraction de la thorine a mis sur le marché une quantité considérable de composés du cérium non radioactifs, jadis sans emploi; il devenait intéressant de leur trouver une utilisation.

Les sels de terres cériques ont été préconisés pour divers usages industriels; on les a essayés comme catalyseurs dans des fabrications chimiques, notamment dans celles de l'aniline et de l'acide sulfurique. Ils ont été essayés en tannerie, en photographie; une petite quantité d'oxyde de cérium entre, avec la zircone et la thorine, dans la constitution des filaments des lampes électriques à incandescence de Nernst.

Mais tous ces usages sont minimes et c'est à Auer qu'est due la découverte d'un emploi plus important, la fabrication d'*alliages pyrophoriques*. On sait que le cérium et les métaux voisins donnent par le choc des étincelles très éclatantes; les petits fragments mis ainsi en liberté atteignent rapidement la température, assez basse, à laquelle le métal entre en ignition; il s'agit là d'ailleurs d'un phénomène probablement complexe, dans lequel entre en jeu un sous-oxyde, très avide d'oxygène. Auer a rendu le procédé pratique en incorporant au cérium divers métaux (et notamment du fer, dans la proportion de 30 pour 100 environ) qui donnent des alliages plus durs que le cérium pur et par suite plus utilisables pour la fabrication des *briquets*.

β. **Minerais malgaches.** — Si les usages du cérium se multipliaient ou si la demande pour les usages actuels s'élargissait, Madagascar pourrait fournir non seulement le cérium de sa monazite, mais surtout un minéral spécial, la *bastnaésite* de la vallée de l'Imorona (tome I, page 297).

Son traitement serait très facile, puisqu'une simple calcination donne 77 pour 100 de terres cériques.

Le grattage de la terre rouge, accompagné d'un lavage, peut fournir des tonnes de ce minerai dans la région Ifasina-Itorendrika; il en a été d'ailleurs déjà extrait une certaine quantité.

La tscheffkinite, qui accompagne la bastnaésite et qui se trouve aussi en abondance

dans d'autres gisements de l'île, renferme 44 pour 100 de terres cériques; un traitement fort simple permettrait aisément de les extraire.

γ. **Production.** — Pour la première fois, en 1920, le minerai de cérium (*bastnaésite*) figure sur les statistiques officielles sous la rubrique terres rares, il en est sorti 2 501 kilogrammes et seulement 350 kilogrammes en 1921.

IV. — ZIRCONIUM.

A. — *Propriétés et usages.*

Les progrès de la métallurgie font rechercher, notamment pour la construction des fours Siemens-Martin (surtout pour leurs voûtes), des produits réfractaires possédant les trois propriétés suivantes : résistance aux hautes températures, coefficient de dilatation aussi petit que possible, résistance à l'action chimique des oxydes métalliques, des laitiers et des scories en fusion. Ces propriétés sont réalisées à un haut degré dans la zircone. A l'état de pureté parfaite, elle ne fond qu'au voisinage de 2 500° C.; son coefficient de dilatation est si petit qu'un creuset de zircone fondue peut être projeté à l'état incandescent dans l'eau froide sans subir aucun dommage[1]; enfin il est possible d'y maintenir en fusion des alcalis, du verre de silice, des scories et des laitiers les plus divers sans que se manifeste aucune attaque chimique.

La fabrication des briques réfractaires n'est pas le seul usage auquel soit propre la zircone[2].

Des creusets aussi peuvent être faits à l'aide d'un mélange de 90 pour 100 de zircone et 10 pour 100 de magnésie avec, pour liant, de l'acide phosphorique que l'on élimine par volatilisation, grâce à un chauffage intensif à 1 900° C.

La zircone peut être employée pour la construction des fours électriques à arc; elle entre, avec l'argile, dans la composition de certains mouffles de four à zinc.

Le peu de fusibilité et la beauté de l'incandescence de cet oxyde l'ont fait entrer, dès l'origine, dans la composition des filaments de lampes de Nernst et de lampes analogues. Depuis lors, elle a été remplacée par d'autres oxydes, mais on recouvre encore de zircone les bâtons de chaux et de magnésie utilisés pour obtenir la lumière de Drummond. La lampe de Blériot, pour les phares d'automobile,

1. Son coefficient de dilatation linéaire (0,000 000 84) est voisin de celui du verre de silice.
2. Cf. S. I. Levy, *The rare earth*. London, 1915, p. 323.

consiste essentiellement en un crayon de zircone chauffé dans une flamme de chalumeau qu'alimente un mélange de vapeurs d'huile et d'oxygène.

Des essais ont été faits pour introduire des alliages de zirconium dans la métallurgie du fer; le ferro-zircon, à 35 pour 100 de zirconium, a été préconisé, comme succédané du ferro-titane, pour la purification de l'acier. Le zirconium donne aux aciers, au laiton, au cuivre une résistance plus grande à l'action des acides.

Sa faible conductibilité électrique (sauf à haute température) fait employer le zircone comme isolant dans les appareils de chauffage électrique.

La zircone étant à la fois dure, très volumineuse et très stable vis-à-vis des actions chimiques les plus diverses, a été employée comme pigment blanc dans la fabrication de poudres de toilette. Elle a été aussi essayée pour la fabrication du verre opaque et des émaux.

Enfin, elle a été préconisée comme abrasif, usage pour lequel le zircon pourrait être employé directement.

B. — *Minerais.*

Pendant longtemps, la zircone n'a pu être extraite que d'un seul minéral, le *zircon* (silice 32,8, zircone, 67,2), universellement répandu dans toutes les roches, mais se présentant le plus généralement en cristaux microscopiques et ne se trouvant que dans un très petit nombre de gisements en quantité suffisante pour pouvoir en être extrait par centaines de kilogrammes. La zircone était connue aussi dans quelques zirconates, encore plus rares que le zircon.

En 1893, furent simultanément découverts à Ceylan et au Brésil, et décrits sous les noms de *baddeleyite* et de *brazilite*, de petits cristaux monocliniques, constitués par de la zircone pure. Ils étaient alors, et ils sont restés, des raretés minéralogiques. Mais peu après, on découvrit dans l'État de Miñas Gerães au Brésil, une substance singulière formant des masses concrétionnées et fibreuses qui rappellent par leur aspect et leur structure certaines variétés de limonite, avec toutefois une couleur d'un vert olive sombre (densité 4,8 à 5,7); le même minéral a été aussi trouvé dans les alluvions des rivières de la même région, à l'état de cailloux arrondis et polis; les mineurs brésiliens leur donnent le nom de *favas*, comme à tous les cailloux roulés des sables diamantifères et aurifères, sans tenir compte de leur composition minéralogique. Plus récemment encore, dans ce même État de Miñas Gerães et dans celui de Saô Paolo, ont été découvertes en grande quantité des masses pierreuses, grises ou rougeâtres, finement grenues, qui, de même que

les précédentes, sont essentiellement constituées par de la zircone. L'examen microscopique montre que les unes et les autres sont formées par un minéral très biréfringent, uniaxe et optiquement positif comme le zircon, bien qu'il soit dépourvu de silice; cette substance n'est donc ni du zircon ni de la baddeleyite monoclinique, mais sans doute une autre forme de la zircone, quadratique, et probablement identique à celle que Nordenskjöld a jadis obtenue en faisant cristalliser la zircone dans une perle de borax.

En réalité, le minerai n'a pas la composition simple du minéral, il renferme des impuretés qui peuvent atteindre 25 pour 100 de son poids, oxydes de fer, de manganèse, de titane, silice, qui abaissent considérablement son point de fusion. Pour que ce minerai puisse être utilisé comme produit réfractaire, il doit être au préalable traité par un procédé chimique approprié, débutant par un traitement à l'acide chlorhydrique concentré. La zircone, ainsi purifiée, a été employée avantageusement pour la fabrication de briques réfractaires.

Avant la guerre, ce minerai, désigné sous le nom de *zirkite*, de *caldasite*, avait été monopolisé par les Allemands qui le vendaient environ 31 livres (775 francs) la tonne prise en Allemagne; le produit purifié, renfermant de 90 à 98 pour 100 de ZrO^2, valait de 35 à 50 livres la tonne. Pendant la guerre, Américains et Anglais, ont rivalisé d'activité pour se rendre maîtres des gisements brésiliens.

a. — **Minerais malgaches.**

La zircone pure n'est pas connue à Madagascar, mais, par contre, des gisements de zircon y ont été récemment découverts qui, par l'abondance du produit qu'ils fournissent, sont tout à fait remarquables; ils paraissent susceptibles d'une utilisation industrielle.

Un premier gisement est celui du mont Ampanobe, à l'ouest de Solila (tome I, page 236), où les éluvions de pegmatite renferment en abondance de gros cristaux de zircon dont certains pèsent plusieurs kilogrammes.

D'après M. Gaugé, l'inventeur du gisement, il serait possible par une simple cueillette à la main, comme pour le corindon, d'obtenir un tonnage important de ce minéral.

Le second est constitué par les alluvions des régions de Fanovana et de Beforona (tome I, page 238 et *Appendice*); là les cristaux, de couleur brune, sont petits. Ces gisements, qui sont annoncés comme pouvant produire un très grand nombre de tonnes de zircon, ont l'avantage d'être près du chemin de fer.

Enfin, il faut citer les cristaux incolores, extrêmement petits, qui accompagnent la monazite du Mananjary et qui, sous forme d'un sable blanc très fin, pourront

constituer un sous-produit intéressant le jour où l'on traitera par électrotriage les sables monazités de la Colonie. Une variété analogue accompagne la monazite dans l'Inde, etc.

C. — *Production.*

L'exploitation du zircon est à ses débuts à Madagascar. il en a été exporté 1 100 kilogrammes en 1919, 3879 kilogrammes en 1920 et 13 tonnes en 1921.

V. — GLUCINIUM.

A. — *Propriétés et usages.*

La grande légèreté de ce métal a fait fonder qnelque espoir sur son emploi dans la métallurgie, mais rien de positif n'a été fait à cet égard. Si la glucine était produite à bon marché, elle pourrait être employée comme produit réfractaire. Sous forme de nitrate, elle entre dans la composition des manchons de lampes à incandescence.

B. — *Minerai.*

On a vu combien la proportion du béryl suffisamment transparent pour être utilisé pour gemme est infime par rapport à la quantité du minéral extrait. D'autre part, dans la plupart des exploitations, il existe beaucoup de béryl opaque. Ces déchets constituent un minerai de glucinium.

C. — *Production.*

Tout cela ne représente donc que des possibilités pour l'avenir et jusqu'ici, seule, l'industrie chimique a consommé un peu de béryl pierreux. En 1916, il en a été exporté environ cinq tonnes (exactement 5032 kilogrammes) ; le prix semble en avoir été de 1 500 francs la tonne. Une partie de ce béryl provenait de Berere.



Fig. 1.

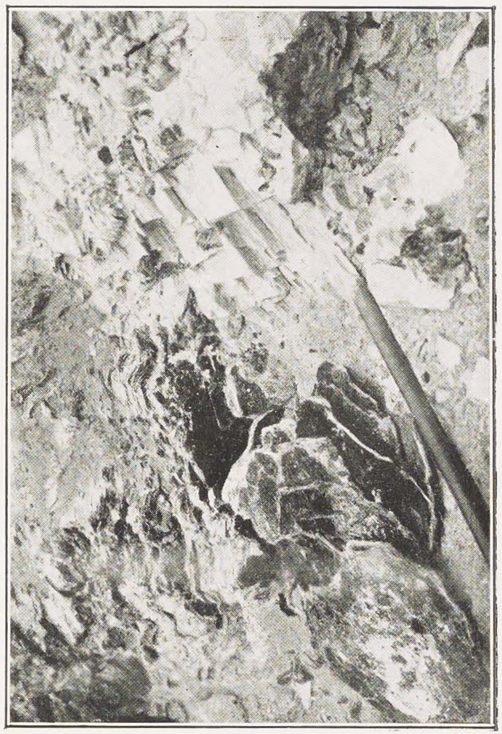


Fig. 2.



Clichés Tacchini.

Fig. 3.

Filon de *phlogopite* (Iroboka) (fig. 1); Sahakara (avec calcite) (fig. 2);
Ouverture d'un puits d'extraction de la *phlogopite*, Ambatoabo (fig. 3).

VI. — MICAS.

A. — *Propriétés et usages.*

La propriété de fournir de grandes lames transparentes et élastiques a fait employer depuis longtemps certains micas pour remplacer les vitres, partout où le verre ne peut être employé sous peine de rupture. L'industrie des poêles et particulièrement des poêles mobiles a popularisé la *muscovite*, mais, ce n'est plus là qu'un emploi secondaire ; le merveilleux développement de l'industrie électrique et particulièrement de celle des dynamos a rendu nécessaire la découverte de nouveaux gisements de ce minéral ; c'est aujourd'hui cette industrie qui absorbe la plus grande partie de la production des micas, et celle-ci est devenue considérable.

L'emploi des micas dans l'industrie électrique est basé sur leurs propriétés diélectriques ; leurs lames servent d'isolants entre les lames de cuivre des collecteurs des dynamos et des moteurs à courant continu [1] ; roulées en tubes de diverses sections, elles servent aussi d'isolants dans les induits des moteurs, dynamos et alternateurs. Pour ces usages, le mica doit posséder les caractéristiques suivantes : ses lames de clivage doivent être planes, sans fissures et dépourvues de plans de séparation ; elles doivent pouvoir être clivées à 5 centièmes de millimètre, être claires, dépourvues d'inclusions et surtout d'inclusions ferrugineuses ; sous une épaisseur de 1 millimètre, ces lames peuvent être teintées de jaune rougeâtre (mica ruby du commerce), enfin, elles doivent être très flexibles et aussi pouvoir être découpées sans se fendre. Le mica doit en outre pouvoir supporter une haute température sans s'émietter. Enfin une dernière qualité est nécessaire, une dureté voisine de celle du métal auquel il est associé, afin d'éviter une usure plus rapide ou plus lente que celle de ce dernier.

A égalité de pureté, la valeur du pouvoir diélectrique (variable avec les échantillons de localités différentes et dépendant de petites différences chimiques), le degré de dureté et d'élasticité constituent les trois propriétés qui servent à classer les micas au point de vue industriel.

Actuellement, les sortes de mica les plus cotées sur le marché sont le mica, dit ruby (muscovite) de l'Inde, puis le mica ambré (phlogopite) du Canada : la valeur de ce dernier est un peu inférieure parce qu'il supporte moins bien l'action

1. Pour cet usage le mica est découpé en rondelles à l'aide d'emporte-pièces.

de la chaleur et, en outre parce qu'il renferme parfois entre ses lames des impuretés, moins faciles à dépister que dans le mica presque incolore.

A défaut de lames de mica suffisamment larges, on emploie, sous le nom de *micanite,* un produit obtenu en collant, à l'aide de la laque, de larges lames ou de petites lamelles de mica disposées en position parallèle et soumises ensuite, à chaud, à l'action d'une presse hydraulique.

Divers autres usages ont été trouvés pour utiliser les résidus du traitement des lames de mica destinées aux usages électriques. Ces résidus, désagrégés par différents procédés, servent à constituer des parements calorifuges aux chaudières et aux conduites de vapeur; ils doivent cet emploi, non seulement à la faible conductibilité calorifique du minéral, mais aussi à la petite quantité d'air emprisonnée entre les lamelles empilées.

Plus nombreux sont les usages de la poudre de mica, amenée à des degrés plus ou moins grands de finesse. Elle sert à lustrer les papiers peints; elle entre dans des compositions utilisant les propriétés diélectiques du minéral (mélangée à du caoutchouc pour les récepteurs téléphoniques, à la laque pour les enduits destinés aux fils parcourus par des courants à haute tension) ou bien son incombustibilité (composés ignifuges) ou encore son onctuosité (mélanges lubrifiants), etc.

B. — *Gisements malgaches.*

Madagascar renferme des gisements de muscovite et de phlogopite qui peuvent être fructueusement utilisés au point de vue industriel et qui sont destinés à lutter avec succès avec les gisements étrangers les plus estimés[1].

a. — **Muscovite.**

La muscovite se trouve dans les pegmatites potassiques; dans certaines d'entre elles, elle constitue des amas de grande importance.

En 1914, une seule exploitation de muscovite était à signaler, celle d'Ambato-

1. L'Inde, les États-Unis et le Canada sont grands producteurs du mica.

Les dimensions employées par tous les importateurs de mica sur le marché de Londres sont les suivantes :

N°	pouces carrés	
N° 1	36 pouces carrés :	24
2	24 —	15
3	15 —	10
4	10 —	6
5	6 —	3
6	3 et au-dessous.	

Le pouce carré anglais vaut $6^{cm^2},451$.



Clichés Krafft et Tacchini.

Fig. 1.



Fig. 2.

Filon de *muscovite,* Andilana (fig. 1). — Entrée d'une caverne du filon de *phlogopite* ; Ambatoabo (fig. 2).

fotsikely, mais au cours de la guerre, l'Angleterre s'étant réservé le monopole du mica « ruby » de l'Inde et en ayant interdit l'exportation, même chez ses alliés, il devint nécessaire à la France de se suffire à elle-même. Les besoins de la Défense nationale, notamment ceux de l'aviation étant impérieux, le Service des Mines de la Colonie averti fit de son mieux pour susciter des prospections et, de toutes parts, les pegmatites à muscovite qui parsèment la Grande Ile furent fouillées à ce point de vue ; la muscovite était jusqu'alors jetée aux remblais dans les exploitations de béryl. Au 1er janvier 1919, 323 bornages, distribués dans les régions les plus diverses, étaient enregistrés pour recherche des micas.

Les principaux gisements (cf. tome I, page 480) sont situés dans les régions de Betafo, d'Ankazobe, d'Ambatondrazaka [1] sur les bords du lac Alaotra (Pl. 12, fig. 2) ; du mica de bonne qualité a été extrait de plusieurs d'entre eux ; un rapport de M. Lavila indique que la Colonie pouvait déjà fournir en 1919 une centaine de tonnes de mica marchand [1] et de 40 à 50 tonnes de déchets, si les prix se maintenaient suffisamment rémunérateurs.

L'une des difficultés de l'exploitation du mica consiste en général dans la nécessité où l'on se trouve d'employer les explosifs pour abattre la pegmatite ; ceux-ci brisent ou ébranlent les cristaux de mica et entraînent une grande perte de matière. Je me souviens d'avoir assisté, il y a quelque trente ans, à Villeneuve, au Canada, à un carnage de beaux cristaux de muscovite fait à la suite de l'explosion d'un grand nombre de mines allumées en l'honneur d'un acheteur escompté de l'exploitation.

La latéritisation des gisements malgaches situés dans la région tropicale atténue cette cause de déperdition ; il est vrai que la zone superficielle inutilisable est plus épaisse qu'ailleurs, mais cet inconvénient est compensé par la facilité d'extraction du mica situé sous la zone éluvionnaire.

b. — Phlogopite.

C'est à peu près de la même époque que date la découverte des gisements de phlogopite ; le premier qui a été travaillé est celui de Volonandrongo dans une boucle de la Mania ; il a été découvert par M. Rossi (Tome I, p. 475). Le mica que l'on en extrait constitue de grands cristaux hexagonaux qui atteignent 50 centimètres de diamètre et plusieurs centimètres d'épaisseur ; leur aspect est celui de la phlogopite du Canada. Elle se trouve, comme cette dernière, en veines

1. En 1919, le gisement d'Andilana au Nord du lac Alaotra pouvait déjà fournir par mois 2 tonnes de mica marchand, dont 15 pour 100 parfaitement clair et 40 pour 100 légèrement taché.

pegmatiques traversant une pyroxénite ; elle est accompagnée de très beaux minéraux cristallisés (pyroxène, scapolite, épidote, clinozoïsite, etc.).

D'autres gisements qui sont analogues ont été récemment découverts dans l'Extrême Sud (Cf. Tome I, page 475) ; les échantillons de Marosoritra, près Tsiombe que m'a communiqués M. Vieille Koechlin sont particulièrement intéressants ; ils proviennent d'une pyroxénite d'un vert noir, plus ferrugineuse que celle de Volonandrongo. Un autre gisement est depuis peu exploité à Ankelindrano, dans la région d'Ambovombe ; il fournit des plaques ayant jusqu'à 1 mètre de diamètre qui sont d'excellente qualité[1].

Depuis deux ans, MM. Louys et Bornand exploitent de magnifiques gisements situés au Nord et à l'Ouest de Fort-Dauphin.

M. Bornand m'a donné d'intéressants détails sur les exploitations d'Ambatoabo sur le flanc du Mont Elakelaka. Dans la pyroxénite, ont été trouvées de grandes excavations tapissées de lames épaisses de phlogopite ayant jusqu'à $1^{m},80$ de diamètre. Elles correspondent à des bancs de calcaire ramifiés dont la calcite a été enlevée par dissolution. D'autres gisements sont exploités entre Tsivory et Bekily, notamment à Bevoay ; d'après les renseignements que m'a fournis M. Dinnematin, les veines de mica y atteignent 2 mètres de puissance.

Au moment de la mise en pages de cette feuille, M. Tacchini, directeur des exploitations de M. Louys, m'adresse des renseignements qui ne peuvent prendre place ici, mais qui seront exposés plus loin dans l'étude des pyroxénites. La planche 11, la figure 2 de la planche 12 et la planche 13 reproduisent des photographies prises dans les exploitations de la région de Fort-Dauphin.

C. — *Production.*

Les statistiques ne font pas de différence entre les deux types de micas ; la sortie a été la suivante ; elle indique une progression très rapidement croissante :

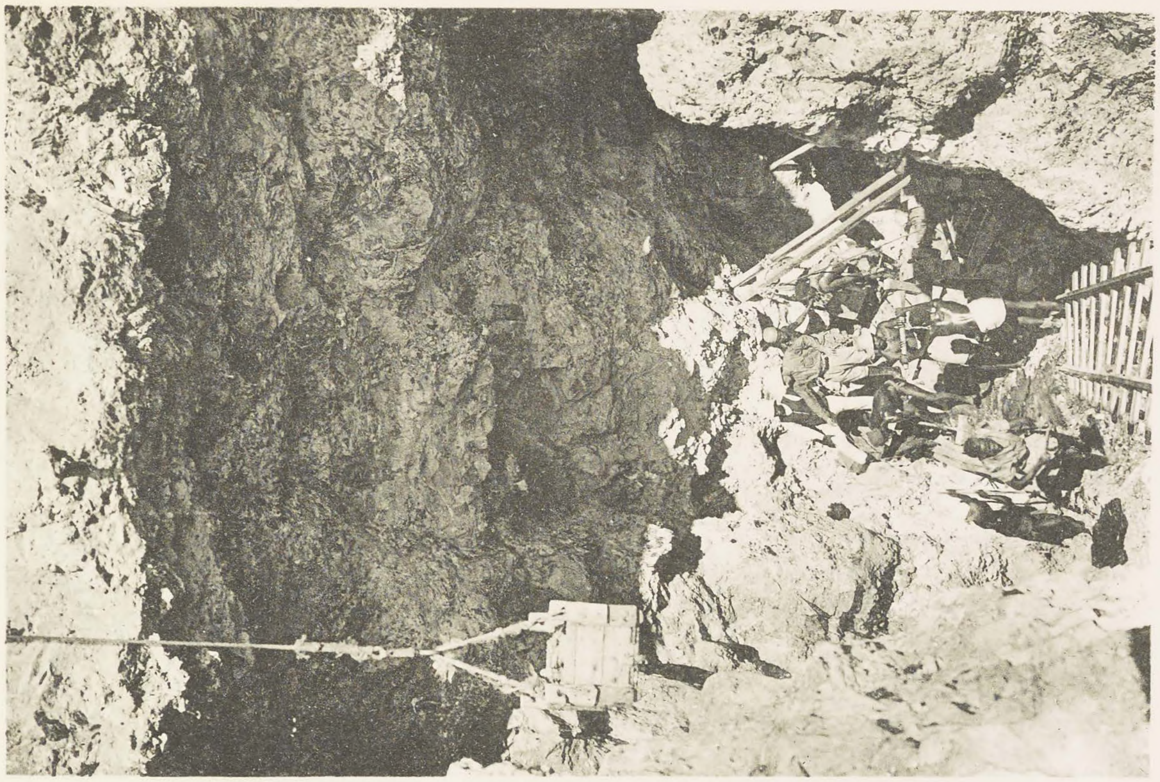
1908.......	500 kilogr.	1915.......	1 163 kilogr.
1909.......	»	1916.......	3 244 —
1910.......	»	1917.......	257 —
1911.......	35 —	1918.......	4 349 —
1912.......	»	1919.......	18 663 —
1913.......	5 730 —	1920.......	49 521 —
1914.......	3 143 —	1921.......	140 710 —

D'après les renseignements qu'a bien voulu me fournir M. Bornand, l'exploi-

1. Au point de vue purement minéralogique, je signalerai que certains de ces grands cristaux que j'ai examinés présentent des figures de choc dont les branches ont plusieurs centimètres de longueur et dépassent tout ce que l'on peut obtenir dans le laboratoire. Elles ont été produites accidentellement sans doute au cours de l'extraction par un coup de pioche « heureux » ou « maladroit » suivant le point de vue auquel on se place.



1



2

Clichés Tacchini

Imp. Catala frères, Paris.

Cavernes dans filons de phlogopite. Exploitations de *mica* de Sahakara (fig. 1) ; d'Ambatoabo (fig. 2).

A. CHALLAMEL, ÉDITEUR

tation du gisement d'Elakelaka commencée le 1er août 1919 a produit jusqu'à ce jour 70 tonnes 605 kilogrammes de mica de diverses colorations (blond, brunâtre, noirâtre), comprenant les dimensions suivantes :

00 au-dessus de 1 000 centimètres carrés.	1 653	kilogr.
0 de 500 à 1 000 centimètres carrés.	6 199	—
1 de 400 à 500 —	4 335	—
2 de 300 à 400 —	8 279	—
3 de 200 à 300 —	8 812	—
4 de 100 à 200 —	12 045	—
5 de 50 à 100 —	15 852	—
6 de 30 à 50 —	7 903	—
7 de 16 à 30 —	5 527	—

L'ensemble des exploitations de la région de Fort-Dauphin a produit jusqu'à 110 tonnes de mica (phlogopite ambrée, dorée, brune, noire) marchand et il continue à en fournir de 10 à 12 tonnes par mois.

Le succès de ces exploitations et les bénéfices qu'elles fournissent expliquent l'augmentation considérable du nombre de bornages pour micas, en général, qui, au 1er janvier 1922, atteignait le chiffre de 875, d'après le rapport sur le fonctionnement du Service des Mines en 1921 que vient de me communiquer M. Bonnefond.

Madagascar est en passe de prendre une des premières places sur le marché mondial du mica.

CHAPITRE V

GRAPHITE ET CORINDON

I. — GRAPHITE.

A. — *Propriétés et usages*[1].

Le graphite est un produit dont les usages se multiplient chaque jour ; sa mollesse, la trace laissée par lui sur les objets à la surface desquels on le frotte le font employer pour la fabrication des crayons ; il sert aussi à noircir, à polir, ou à préserver de l'oxydation les objets de fonte, depuis ceux de modestes dimensions, tels que les poêles ou autres instruments domestiques, jusqu'aux majestueuses constructions métalliques. Il constitue la *mine de plomb*, la *plombagine* que nul n'ignore.

Le graphite est bon conducteur de l'électricité, et pour cela, l'industrie électrique le recherche pour la fabrication des électrodes, des balais de dynamos et de moteurs, des piles électriques, des moules de galvanoplastie, etc.

Onctueux, il est un bon lubrifiant. Il sert aussi à noircir les grains de poudre, à désincruster les chaudières, mais tous ces usages dont l'énumération pourrait être complétée, le cèdent en importance à ceux qui résultent de l'utilisation de sa grande résistance aux hautes températures, — il est infusible —, jointe à sa forte conductibilité calorifique et à sa plasticité, conséquence de sa structure lamelleuse et de son peu de dureté. A cause de tout cela, il est employé pour la fabrication des creusets à fondre les métaux, des tuyères de fours métallurgiques, des cornues ; on l'utilise encore pour enduire les moules de fonderies.

1. Des renseignements très intéressants sur le graphite et son industrie peuvent être trouvés dans le livre de F. Cirkel, *Graphite : propriétés, gisements, traitements et usages*, constituant le rapport n° 18 (F. 202), publié en 1907, par la Division des Mines du Canada et dans l'ouvrage *Le Graphite*, par Hughes S. Spencer, publié en 1921, par la même administration.

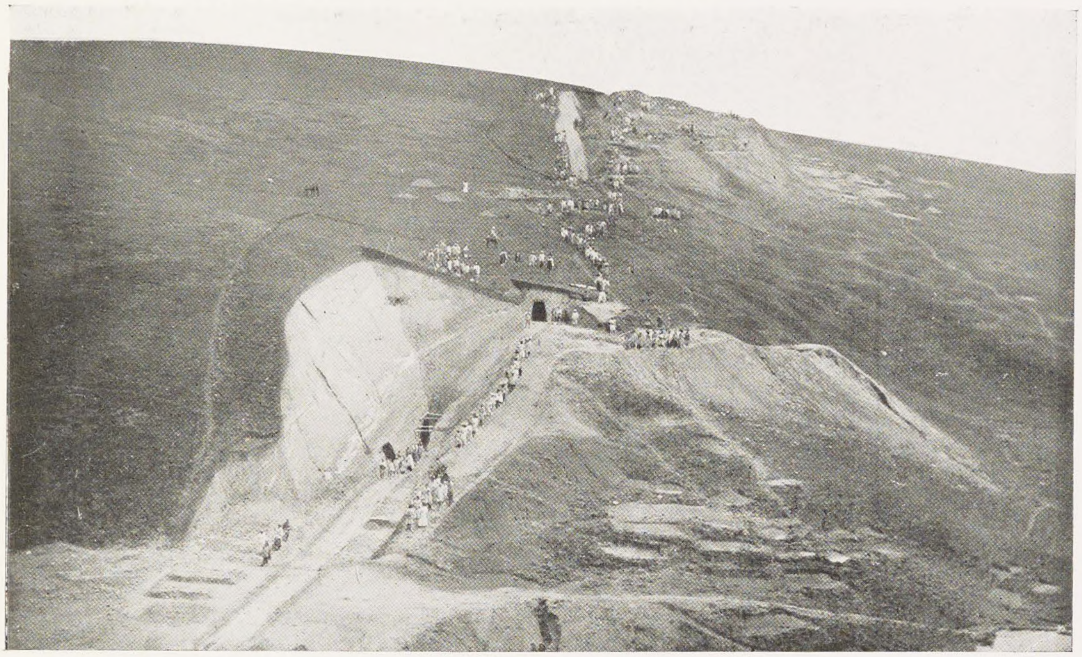


FIG. 1.



Clichés Louys.

FIG. 2.

Exploitation de graphite. Antsahabeloha (fig. 1); Antsiriribe (fig. 2).

B. — *Gisements malgaches.*

Le graphite est, avec l'or et même avant l'or, l'un des éléments de la prospérité minière de Madagascar. Il est exploité exclusivement dans les gneiss et dans les micaschistes. Des détails sur ses gisements sont donnés tome I, page 152 et plus loin dans le chapitre consacré aux schistes cristallins.

Une particularité importante, au point de vue pratique, des gisements malgaches consiste en ce que les roches qui renferment le graphite sont toujours altérées superficiellement. Tous les minéraux essentiels autres que le graphite et le quartz sont transformés en argile latéritique et c'est là une des causes de la valeur industrielle de ces affleurements dont l'exploitation et le traitement peuvent se faire dans des conditions beaucoup plus avantageuses que dans les pays étrangers. La zone d'altération est si épaisse, en général, à Madagascar qu'il n'y a pas lieu de prévoir d'ici longtemps un changement de régime, mais les conditions économiques seront complètement transformées le jour où sera atteinte la roche intacte. L'extraction du graphite nécessitera alors des broyages coûteux et la plupart des gîtes cesseront sans doute d'être exploitables.

La *distribution géographique* des gisements de graphite est très grande. Partout dans l'île, où il y a des gneiss, existe peu ou prou de ce minerai ; actuellement, la plupart des exploitations sont localisées dans les régions d'accès facile, sur les Hauts Plateaux, entre le parallèle d'Anjozorobe et celui de Fianarantsoa, et particulièrement dans les provinces d'Itasy, du Vakin'Ankaratra, d'Ambositra et de Fianarantsoa, puis sur la côte orientale, entre les parallèles de Fénérive et de l'embouchure du Mananjary, dans la province de Tamatave qui vient d'absorber (1921) les anciennes provinces d'Andovoranto et de Vatomandry.

Je donne ci-contre une liste de quelques gisements dont j'ai vu de beaux échantillons marchands, soit à Madagascar, soit à l'Exposition coloniale de Lyon (1914), puis la liste des exploitations existant en 1921.

Province de Tananarive. — Tsarazafy (Tendro) ; Ambohibeloma ; Manantsoa au Sud d'Arivonimamo.

Province de l'Itasy. — Ngilomby ; Ambohibary ; Mahabodo.

Province du Vakin'Ankaratra. — Bemasoandro ; Andasiparaky, Befotaka.

Province d'Ambositra. — Andidy ; Ambondrona.

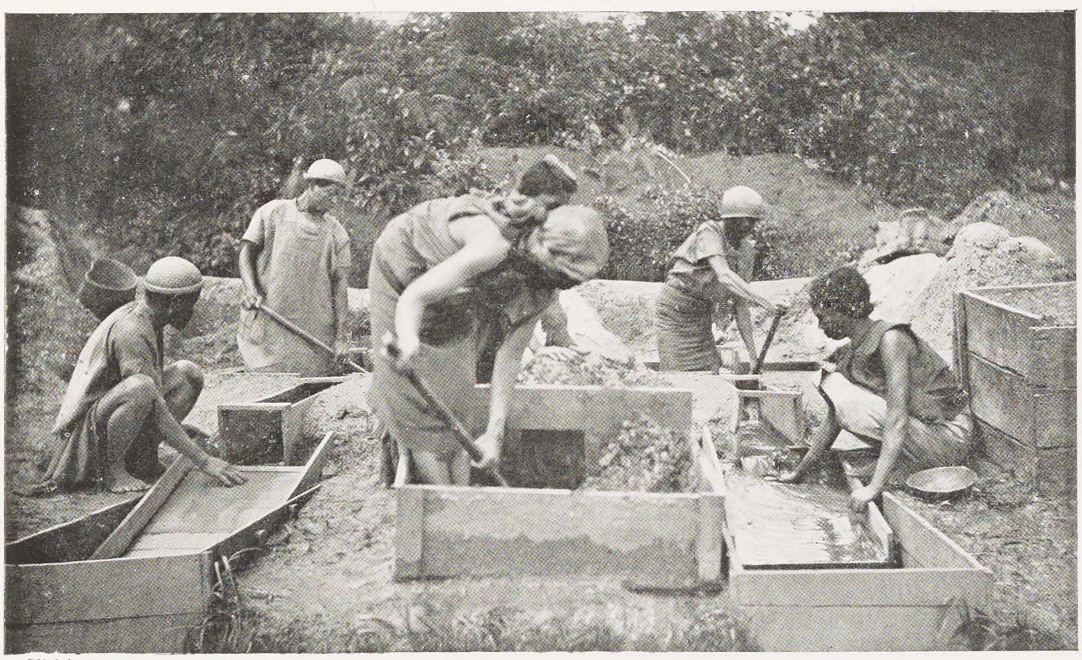
Province de Fianarantsoa. — Alakamisy ; Ambalavao ; Fanjakana.

Province de Tamatave. — Vohitsara ; Ambohimarina, et (ancienne *province d'Andovoranto*). — Anivorano ; Fetraomby ; Ampasimazava.

EXPLOITATIONS DE GRAPHITE EXISTANT AU 1er JANVIER 1921

					PROVINCE
Ambohimasina,	à 29	kilomètres au	N.-W.	de Tananarive.	Tananarive.
Ambohimanoa,	à 29	—		—	—
Ambatonondrilahy,	à 29	—		—	—
Ambohimiadana,	à 33	—	S.-E.	—	—
Amboanjobe,	à 13	—	S.	—	—
Manato,	à 16	—	S.	—	—
Ambohimarinkely,	à 14	—	S.-E.	—	—
Imerintsiadino,	à 11	—	S.-E.	—	—
Alasora,	à 8	—	S.-E.	—	—
Tsiafahy,	à 18	—	S.	—	—
Ambohidrabiby,	à 18	—	N.	—	—
Ambotriniandriana,	à 13	—	N.-E.	—	—
Ambohimanjaka,	à 20	—	N.	—	—
Ambohitrandriamanitra,	à 10	—	S.-S.-E.	—	—
Ampidiamanga,	à 10	—	S.-S.-E.	d'Andramasina.	—
Soavinimerina,	à 15	—	E.	—	—
Ambatoharana,	à 10	—	S.	—	—
Andranofito,	à 26	—	W.	de Belanitra.	—
Antsahabeloha,	à 30	—	S.-E.	d'Andramasina.	—
Andranotsara,	au	—	S.-W.	de Vatomandry.	Tamatave.
Tomampy,	à l'	—	W.	—	—
Marovintsy,	à 12	—	N.	—	—
Tetezambato,	à 12	—	N.-W.	—	—
Iambovinany,	à 25	—	S.	du village Besakay.	—
Alampo,	à 19	—	W.	de Brickaville.	—
Antsiranakomby,	à 25	—	W.	—	—
Besakay,	à 25	—	N.	de Seranantsara.	—
Sahanavo,	à 30	—	W.	d'Ambilomaina.	—
Ambalarondra,	à 7	—	N.	—	—
Andonabe,	à 35	—	N.	d'Ambinanindrano.	—
Salohy ambony,	à 7	—	N.-E.	de Maroseranana.	—
Andrianarivo,	à 29	—	N.-E.	—	—
Lavakorana,	à 17	—	N.-E.	de Vatomandry.	—
Belanitra,	à 6	—	W.	de Seranantsara.	—
Ambodimanga,	à 9	—	N.-W.	—	—
Ampasimadinika,	à 22	—	S.-W.	du Mt Maroandro.	—
Tananaborizano,	à 27	—	N.	de Seranantsara.	—
Andranovelo,	à 11	—	S.-W.	d'Andovorante.	—
Maromitety,	à 18	—	W.	de Saivazo.	—
Ambohitrotroka,	à 12	—	N.-W.	—	—
Andranompona,	à 17	—	N.-E.	d'Ambilomaina.	—
Salohy-Ampasimazava,	à 14	—	N.-W.	—	—
Ankatsakafobe,	à 10	—	N.-W.	—	—
Ambohitoto,	à 12	—	N.-W.	de Saivazo.	—
Ampasimbola,	à 14	—	S.-W.	d'Andovoranto.	—
Ambinanindrano,	à 10	—	S.-W.	—	—
Bedara,	à 29	—	W.	—	—
Fanandrana,	à 24	—	N.	d'Ambilomaina.	—
Ambodimangaroa,	à 10	—	N.-W.	de Seranantsara.	—





Clichés Louys.

Exploitations de graphite ; Antsiriribe.

				PROVINCE
Belafika,	à 50 kilomètres au	N.-W.	d'Ambositra.	Ambositra.
Antovotany,	à 17 —	N.-N.-W.	de la gare de Rogez.	Moramanga.
Masse,	à 7 —	E.	de Moramanga.	—
Périnet,	près de la gare de Périnet.			—
Fanovana,	à 7 kilomètres au	N.-W.	de Beforona.	—
Raboana,	à 23 —	N.-E.	de la gare de Rogez.	—
Périnet,	à 17 —	W.	de Beforona.	—
Vohitra,	à 8 —	S.	de la gare de Masse.	—
Ambodindrahofika,	à 17 —	S.	—	—
Sahatandra,	à 5 —	W.	de la gare de Périnet.	—
Amparafara,	à 10 —	S.	de la gare de Masse.	—
Ampasimbola,	à 30 —	N.	d'Ambinanindrano.	Mananjary.
Ambatomasina,	à 10 —	N.-E.	de Marolambo.	—
Andranambalava,	à 8 —	S.-W.	—	—
Andranovao,	à 20 —	N.-E.	du Mt Tsitondroina.	—
Marofariana,	à 16 —	N.-E.	de Marolambo.	—
Maromitety,	à 30 —	N.	d'Ambinanindrano.	—
Ambohitranjaka,	à 7 —	S.	du fleuve Ikopa.	Itasy.
Ambalavato,	à 8 —	S.	de Belanitra.	Vakin'Ankaratra.
Ankitsikitsika,	à 17 —	W.	de Tsinjoarivo.	—
Ambohidraondriana,	à 7 —	S.	de Belanitra.	—
Antsiriribe,	à 21 —	S.-W.	de Tsinjoarivo.	—
Anosimanjaka,	à 8 —	N.-E.	de Nafindramaso.	—
Mahazoarivo,	à 22 —	S.-W.	de Vangaindrano.	Farafangana.
Ampefivato,	à 23 —	S.-W.	—	—
Fozaira,	à 6 —	W.	de Farafangana.	—
Ampefivato,	à 18 —	S.-W.	de Vangaindrano.	—

Le nombre des gisements prospectés s'est accru avec une rapidité vertigineuse[1] : les permis de recherches étaient au nombre de 2 en 1908, ils atteignaient 3775 en 1918 ; il en subsiste 1316 au 31 décembre 1921.

C. — *Exploitation.*

L'*exploitation* se fait partout à ciel ouvert (Pl. 14) ; après nettoyage de la zone éluvionnaire superficielle, on creuse des gradins de 2 mètres de hauteur sur 2^{m},50 à 3 mètres de large ; l'abatage se fait à l'angady, l'argile se coupe comme du beurre (Pl. 15). J'ai vu, sur le chantier de Tsarazafy les Malgaches briser à coups de bâton les mottes de terre rouge, au fur et à mesure de leur abatage, et c'est là sans doute une méthode qui n'est pas banale dans une exploitation minière.

Le prix de revient du minerai sur le carreau de la carrière est extrêmement bas (0 fr. 60 la tonne).

1. Avant la conquête, les Malgaches utilisaient ce minéral pour noircir leurs poteries et leurs marmites de terre. Dans les vieilles cases de l'enceinte des Palais de la Reine, on en conserve qui remontent au roi Andrianampoinimerina (1787-1810). Ils lui donnent divers noms : *manjarano* dans l'Imerina ; *anjamanga*, dans le Betsileo ; *tanimainty* sur la côte orientale ; *vanja* chez les Sakalava du Nord.

Sur les Hauts Plateaux, l'on exploite des minerais à partir d'une teneur de 8 pour 100 seulement de graphite ; dans la région côtière de l'Est, où l'eau abonde partout, cette teneur minimum peut être abaissée à 5 pour 100.

D. — *Préparation industrielle.*

Les procédés de *traitement* des minerais de graphite ont subi de rapides transformations[1].

De la période de début à 1911, seules sont employées des recettes indigènes, inspirées par le traitement des alluvions aurifères. Le gneiss graphiteux transformé en argile, est débourbé dans des auges en bois (Pl. 15 et 16, fig. 2) ; le résidu est séché au soleil, puis vanné au *losira*, sorte de van en bois, afin d'éliminer le mica et le quartz. Ces procédés quelque peu primitifs exigent un maximum de main-d'œuvre et conduisent par suite à un prix de revient élevé ; ils ne fournissent guère que du graphite à 80 pour 100 de carbone ; 5 pour 100 de la production actuelle sont encore ainsi obtenus.

De 1911 à 1913, cette pratique indigène a été perfectionnée par la substitution progressive du sluice à la batée (Pl. 16, fig. 1). Le séchage au soleil est à peu près remplacé par le séchage artificiel (Pl. 17, fig. 2) et notamment au four à sole, surtout sur la côte orientale où l'humidité est extrême. Pour le vannage, le tarare à blé prend la place du losira ; enfin, des tamis multiples à secousses rendent le tamisage plus facile et permettent le classement du graphite lavé. L'enrichissement atteint 85 pour 100 et même 95 pour 100 dans les gisements exceptionnels ; 35 pour 100 de la production sont ainsi obtenus actuellement. Lors de mon voyage, à la fin de 1911, j'ai vu ces divers procédés en marche dans les exploitations des Hauts Plateaux : à ce moment une seule petite usine, celle de M. Suberbie à Tsarazafy sur l'Ikopa, en aval de Tananarive, commençait un traitement industriel.

En 1913, apparaissent les appareils mécaniques fournissant des produits plus uniformes, plus riches, et en même temps réduisant la main-d'œuvre. Le débourbage est fait au trommel ; des fours rotatifs sont employés, ainsi que des tamiseurs à châssis multiples. Ce sont ces procédés, ne nécessitant encore que de petits capitaux, qui fournissent aujourd'hui la plus grande partie (40 pour 100) du tonnage.

De 1915, date le début de méthodes plus complexes, exigeant des installations de plus grande envergure et par suite plus coûteuses : emploi de distributeurs automatiques envoyant le minerai dans un trommel débourbeur qui rejette les

1. Cf. Lavila. *Bull. économique*, Tananarive, 1919, p. 1.



FIG. 1.



FIG. 2.

Exploitation de *graphite*; région de Betafo. Lavage au *sluice* (fig. 1). Lavage à la *batée* (fig. 2).

stériles et classe le graphite, d'après ses dimensions, en trois catégories. Celles-ci sont ensuite, suivant leur calibre, envoyées dans un broyeur à cylindres, dans un crible à piston ou sur un tamis à secousses ; le produit est alors séché dans un four tournant, tamisé et traité par des ventilateurs, puis enfin soumis à un dernier classement par tamisage. Jusqu'ici ces procédés perfectionnés ne fournissent guère que 20 pour 100 de la production totale.

L'une des difficultés de la purification du graphite réside dans la fréquence de son association au mica (biotite) qui, une fois altéré, possède une densité voisine ; la structure lamellaire des deux minéraux gêne leur classement par l'action du vent. On commence à utiliser pour l'enrichissement ultime la méthode électrostatique, utilisant la propriété du graphite d'être bon conducteur, alors que le mica ne l'est pas du tout, ou bien le procédé de séparation par flottage dans l'huile, basé sur ce que le graphite adhère très facilement à l'huile et aux bulles de gaz, tandis que le mica et le quartz, facilement mouillés par l'eau, tombent rapidement au fond de l'émulsion huileuse.

Bientôt seules subsisteront les méthodes de traitement industriel et, à ce point de vue, il y a un contraste frappant avec ce qui se passe pour l'exploitation et le traitement des minerais aurifères, dans lesquels, comme je l'ai fait remarquer page 47, ce sont les méthodes primitives qui sont presque seules appliquées après des tentatives infructueuses de modernisation.

Une fois purifié et mis sous une forme marchande, le graphite de Madagascar se présente sous la forme de petites paillettes de dimensions variées, ayant de 1 à 3 millimètres de diamètre en moyenne, mais pouvant atteindre exceptionnellement 1 centimètre ; ces grandes lames sont généralement couvertes de stries régulières, se coupant sur des angles de 60 et de 120°. Il existe aussi (Anivorano, etc.) des graphites à grain extrêmement fin que l'on qualifie à tort de graphite *amorphe*, car le terme de graphite implique nécessairement une structure cristalline ; cette variété, traitée par le chlorate de potassium et l'acide azotique, donne de l'acide graphitique comme le minéral en larges paillettes et c'est là la différence permettant de la distinguer du carbone amorphe qui, en dehors de la Colonie, colore tant de sédiments non métamorphiques.

Quant aux belles masses lamellaires qui se rencontrent dans quelques localités, elles offrent l'aspect de certains graphites de Ceylan.

Le graphite se vend sur analyse, d'après la teneur en carbone. Le prix de base est fixé pour une teneur de 80 ou 90 pour 100, avec 10 ou 15 francs en plus ou en moins par unité de carbone. La nature des impuretés subsistantes a de l'importance suivant l'usage auquel est destiné le minerai.

Variétés du graphite malgache.

Le graphite de Madagascar est d'excellente qualité, il peut rivaliser avec celui de Ceylan sur les marchés d'Angleterre et des États-Unis. Par suite des conditions de son gisement dans une zone d'oxydation, latéritisée, il est dépourvu de sulfures et de chaux, ce qui le rend très propre à la fabrication des creusets[1]; c'est là, d'ailleurs, son usage principal. Pendant la guerre, la Grande Ile a alimenté non seulement la France, mais les pays alliés pour la fabrication des creusets métallurgiques et particulièrement pour ceux destinés à la fusion du laiton.

Les variétés les moins pures, celles qui renferment encore un peu de mica, mais pas de quartz, sont employées pour la fabrication des lubrifiants et aussi des couleurs; leur valeur est de 40 à 50 pour 100 inférieure à celle du graphite à creusets.

Par contre, les types les plus purs, tenant de 97 à 98 pour 100 de carbone, sont absorbés par les industries électriques (balais pour dynamos, pour moteurs, contacts électriques, piles sèches, etc.). Certains lots ont été payés, en 1917, jusqu'à 2 000 francs la tonne.

Production et exportation.

Le tableau ci-contre fournit, d'après les indications du Service des Mines de la Colonie, la statistique d'exportation[2] rapidement croissante. J'y ai réuni quelques indications sur les prix payés à diverses époques, d'après les estimations de

1. Le bon graphite à creuset doit renfermer au moins 85 pour 100 de carbone, être dépourvu de pyrite, d'argile, de fer, et il doit se présenter en paillettes de 1 millimètre de diamètre, ou plus, de façon à pouvoir s'enchevêtrer dans l'argile qui lui sert de liant.

2. Il est intéressant de comparer aux chiffres de l'exportation ceux de la production (Cf. Rapport du Service des Mines pour 1920, M. Evesque, chef du Service des Mines p. i.).

1915	15 940
1916	26 524
1917	35 000
1918	16 000
1919	4 983
1920	4 000

La différence existant entre ces chiffres et ceux que j'ai donnés antérieurement [253], tient à ce que dans le document officiel que j'avais eu entre les mains, confusion avait été faite pour certaines années entre la production et l'exportation.

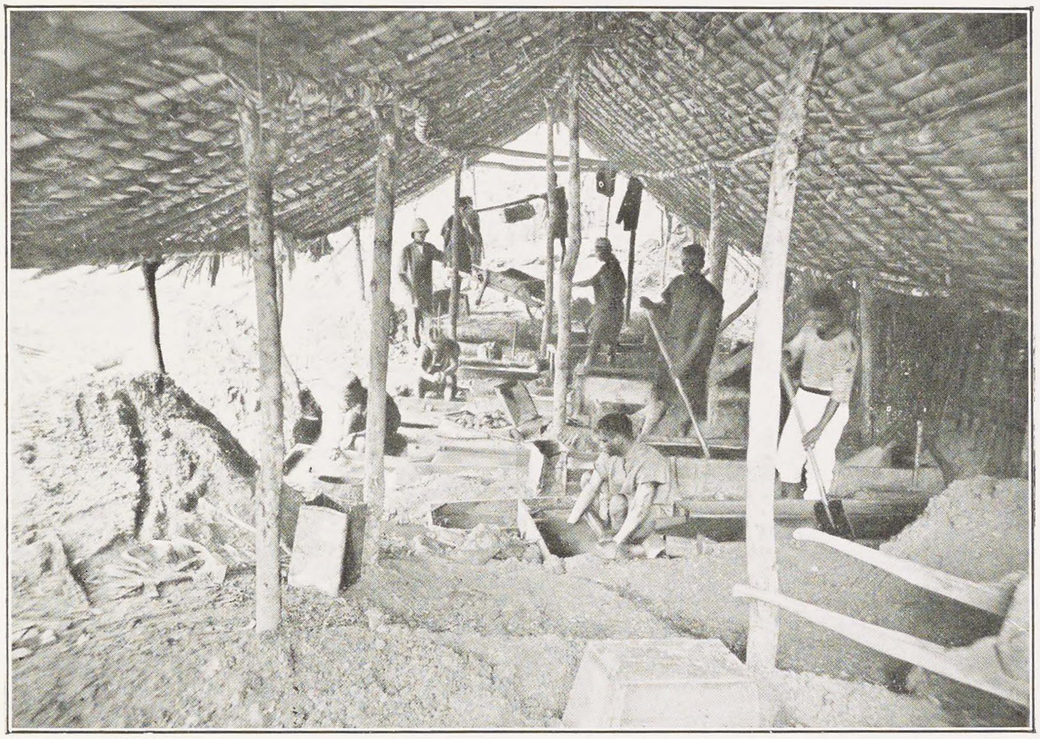


Fig. 1.

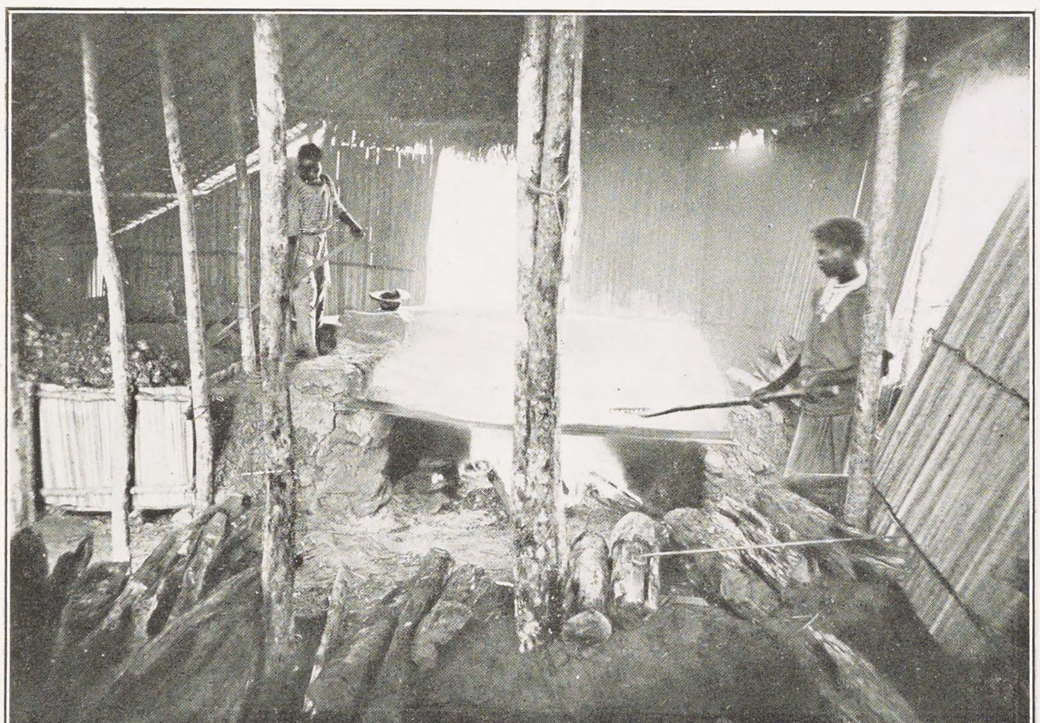


Fig. 2.

Purification du graphite par lavage (fig. 1). — Séchage (fig. 2) ; Région de Betafo.

M. Lavila, contrôleur des Mines à Madagascar, qui a donné en outre une approximation du prix moyen de revient ; celui-ci est variable avec les méthodes de travail, la main-d'œuvre utilisée et les transports ; elle oscillait en 1911 entre 340 francs la tonne dans les gisements de la côte et 370 pour ceux des Hauts Plateaux.

		Prix moyens [1].
1907......	8 tonnes	5 à 700 francs la tonne (pris à Tamatave).
1908......	82 —	
1909......	198 —	
1910......	545 —	
1911......	1 266 —	
1912......	5 318 —	
1913......	7 997 —	
1914......	11 232 —	400 fr. la tonne à 85 pour 100 de carbone, 500 fr. à 90 pour 100 (à Tamatave).
1915......	4 051 —	450 fr. la tonne à 90 pour 100 avec 10 fr. en plus ou en moins par unité.
1916......	25 480 —	700 fr. la tonne à 90 pour 100.
1917......	26 943 —	1 200 fr. la tonne à 90 pour 100 (à Marseille, avec 16 fr. en plus ou en moins par unité).
1918......	14 682 —	Arrêt partiel des expéditions pendant les 2/3 de l'année.
1919......	4 983 —	32 000 tonnes restent disponibles.
1920......	14 425 —	20 000 —
1921......	6 220 —	18 à 20 000 —

II. — CORINDON.

Les gisements du corindon ayant été longuement étudiés dans plusieurs chapitres de ce livre (Cf. tome I, p. 247), il n'y a pas lieu d'y revenir ici, je donne seulement une carte de la région exploitée au Sud-Est d'Antsirabe.

Le corindon considéré comme gemme est décrit page 97, je m'occuperai ici de celui qui est utilisé par l'industrie des abrasifs : c'est ce qu'à Madagarcar l'on appelle le *corindon industriel*, rubrique sous laquelle il figure dans les statistiques officielles. Une autre variété, déchet du corindon gemmiforme, est utilisée par l'industrie de la pivoterie et de la tréfilerie ; elle figure dans les statistiques à la deuxième catégorie des pierres précieuses.

1. Le cours actuel du graphite malgache est de 850 francs la tonne (pris à Marseille), pour le produit à 80 pour 100 de carbone, avec 15 francs pour unité, en plus ou en moins.

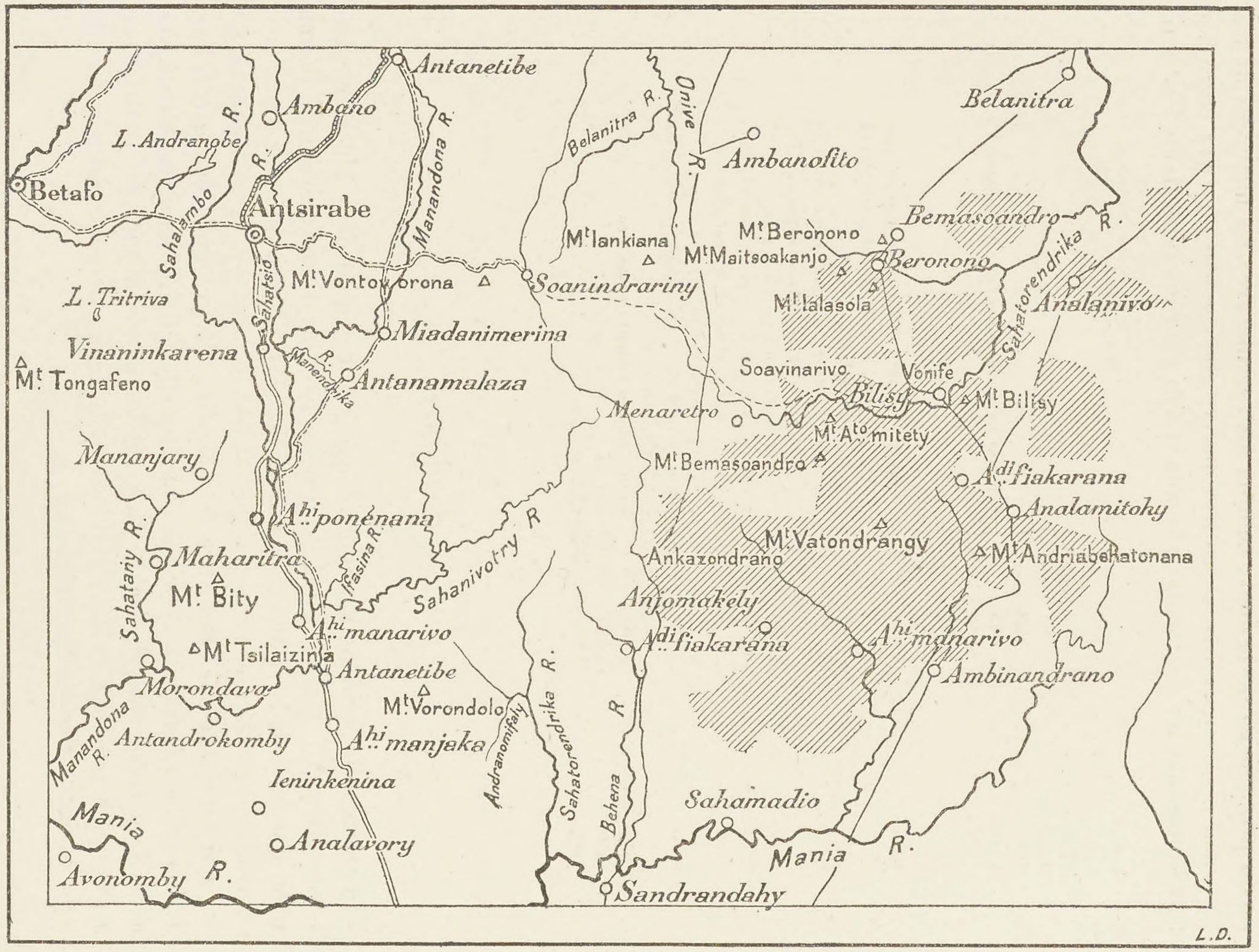


FIG. 4. — Gisements de corindon au Sud-Est d'Antsirabe.

A. — *Corindon industriel (abrasif).*

Le corindon industriel se présente sous deux formes[1] :

1° En cristaux nets, gris ou rosés, les uns à faces ternes et raboteuses parfois encroûtés de mica, ayant de quelques centimètres à plus d'un décimètre de longueur (isoscéloèdres et plus rarement prismes basés) ; ils se trouvent dans des micaschistes ; les autres, de plus petite taille, plus propres, à faces lisses proviennent de roches feldspathiques associées aux micaschistes.

2° En masses compactes plus ou moins finement grenues, constituant une roche que j'ai appelée *corindonite* et qui n'a été trouvée jusqu'ici que dans des alluvions, à l'état de blocs roulés.

Le corindon utilisé pour la pivoterie constitue de petits cristaux basés, d'un bleu foncé, à facies prismatique ; il provient des alluvions basaltiques.

a. — Qualités du corindon industriel malgache.

Le corindon des roches feldspathiques est extrêmement pur ; celui des micaschistes ne contient, en fait d'impuretés, que des paillettes de mica et un peu de limonite ; grâce à son existence à la surface du sol dans les régions latéritisées, il est tout à fait dépourvu de pyrite.

b. — Mode d'exploitation.

On n'exploite guère le corindon industriel que dans les éluvions et les alluvions : les prospecteurs se contentent de faire ramasser à la main par des indigènes, les cristaux disséminés dans la terre superficielle (éluvions ou alluvions) ; dans certains cas on les extrait par un simple débourbage. Le produit de la récolte est acheté aux travailleurs à raison de 0 fr. 10 à 0 fr. 15 le kilogramme environ ; le transport, qui doit être fait à dos d'homme jusqu'au centre d'expédition, représente la partie essentielle du prix de revient.

Quand on exploitera les roches feldspathiques à corindon, un concassage suivi d'un traitement hydraulique permettra facilement d'isoler le produit utile du feldspath[2] dont la différence de densité est très grande.

1. Il faudrait y ajouter la roche à grands cristaux de corindon, spinelle et clinochlore d'Antohidrano (Tome I, p. 253), mais pour l'instant, elle ne semble pas susceptible d'une utilisation industrielle.
2. Celles de ces roches qui sont actuellement connues sont dépourvues de quartz et très fragiles.

c. — Préparation industrielle et mode d'emploi.

La préparation industrielle du corindon est faite en Europe ; elle consiste dans un concassage, puis dans un broyage du minéral qui est d'abord purifié par lavage, puis classé en poudres de différents calibres. Celles-ci sont utilisées pour les mêmes usages que l'émeri, mais on s'en sert surtout pour la fabrication de meules.

Les abrasifs agissent non seulement par leur dureté, mais encore par la forme de leurs grains. Pour obtenir un maximum de rendement, il est nécessaire que ces grains ne s'arrondissent pas à l'usage et conservent toujours des arêtes vives ; cette propriété est réalisée dans le corindon, quand il présente des plans de séparation ; ceux-ci ne constituent pas un caractère constant, comme les clivages, mais une propriété acquise dans certaines conditions (actions orogéniques). Ces plans de séparation doivent exister, mais ils ne doivent pas être trop répétés, sans quoi il en résulte des lamelles qui se couchent à plat et réduisent l'action abrasive du minéral ; c'est ce qui explique que le corindon de certains gisements est inutilisable. Celui de Madagascar, au contraire, est de bonne qualité à ce point de vue, les plans de séparation sont suffisamment fréquents, sans être trop rapprochés.

On peut comparer le corindon malgache à celui fourni par l'exploitation des syénites de Craigmont (Ontario), au Canada.

Si la corindonite compacte de Beforona a moins de valeur industrielle que les gros cristaux de corindon, c'est sans doute parce que les cristaux qui la constituent sont trop petits et dépourvus de plans de séparation. Par contre, pour une cause inverse, je suppose que le corindon à gros grain de l'Ivoloina aura une valeur comparable à celle des cristaux.

La corindonite de Beforona fournit une qualité de corindon industriel comparable à celle de Rewah dans l'Inde.

Production. — La production, ou, plus exactement, l'exportation annuelle que seules donnent les statistiques de la Colonie, a été la suivante :

1910.	11 tonnes.	1916.	914 tonnes.
1911.	150 —	1917.	739 —
1912.	496 —	1918.	178 —
1913.	1 098 —	1919.	812 —
1914.	555 —	1920.	522 —
1915.	327 —	1921.	285 —

La chute dans les exportations en 1918 a été due à la difficulté des transports

qui, depuis la guerre, sévit et atteint toutes les productions de la Colonie. Le corindon est très demandé sur le marché mondial et, avec quelques efforts, sa production pourrait atteindre plusieurs milliers de tonnes.

Il est intéressant de donner, comme comparaison, quelques renseignements sur la production et la valeur du corindon canadien[1] qui est celui présentant le plus d'analogie avec le minéral malgache.

	QUANTITÉS (en short tons[2])	VALEUR (en dollars)
1910	1 870	198 680
1911	1 472	161 873
1912	1 960	239 091
1913	1 177	137 036
1914	548	72 176
1915	339	37 798

Valeur. — Actuellement le corindon en cristaux, premier choix, vaut 800 francs la tonne, pris à Marseille et 750 francs pour le second choix.

La production est absorbée par l'Écosse, l'Italie et aussi par l'Allemagne. L'industrie nationale paraît s'en désintéresser, quitte à racheter plus cher à l'étranger le produit malgache une fois pulvérisé !

B. — *Corindon utilisé pour des industries autres que celles des abrasifs.*

Le corindon recherché par l'industrie de la tréfilerie et de la pivoterie est, comme je l'ai dit plus haut, d'un bleu très foncé ; il est dépourvu de plans de séparation.

Je recommande pour le même usage la ferropicotite de Nosy Mitsio qui fournit des pierres très homogènes. On a vu plus haut que la valeur de ce dernier minéral est d'environ 200 francs le kilogramme.

1. *Annual reports on mineral production of Canada*, Dép[t] mines.
2. La « short ton » vaut 907 kilogrammes.

CHAPITRE VI

SEL MARIN ET PRODUITS DIVERS

I. — SEL.

Il n'existe à Madagascar aucun gisement de sel gemme. Avant la conquête, les indigènes exploitaient sur la côte Nord-Ouest et Sud-Ouest des lagunes inondées par la mer aux hautes marées ou bien ils faisaient évaporer l'eau de mer placée dans des troncs d'arbres évidés. Les salines de Kandrany à l'estuaire de la Betsiboka étaient ainsi exploitées par le gouvernement hova (Cf. tome I, page 191).

Dès l'occupation française, des salines ont été installées et exploitées par les procédés modernes dans la rade de Diego-Suarez, d'abord dans la baie du Courrier, puis près de l'embouchure de la Betaitra et surtout dans la baie d'Anamakia qui fournit actuellement tout le sel consommé dans l'île et même en exporte à la Réunion, aux Seychelles et sur la côte orientale d'Afrique.

En 1920, la saline d'Antsampana (Anamakia) a produit 7 000 tonnes et celle de Betaitra 4 000. Depuis l'an dernier, une nouvelle exploitation a été installée à Andolomikaika.

Sur la côte occidentale de l'île de petites salines, généralement rudimentaires, sont exploitées, surtout pour la consommation locale et, sauf dans la province d'Analalava, elles sont entre les mains d'indigènes.

Voici, classées par districts, les principales de ces exploitations, avec l'indication du tonnage déclaré, en 1920, à l'Administration des douanes qui a bien voulu me communiquer ces renseignements, en même temps que la statistique générale donnée plus loin.

Analalava. — Antsira, dans la région d'Antonibe, 426 tonnes; Belavenona, près d'Ambendrana, sur la Loza.

Majunga. — Boina; Andraikaraika, 185 tonnes; Ambondrobe, 220 tonnes.

Soalala. — Baies de Marambitsy (Sakoamanera) et de Baly.

Maintirano. — Besira, au nord de Tambohorano.

Morondava. — Andranopasy et Sirabe, 80 tonnes, puis, entre Andranopasy et Belo-sur-Mer, nombreuses salines, aujourd'hui abandonnées. Antseranandaka, Manahy, Maroata, Ankilifolo.

Tuléar. — Régions d'Ambohibe (Andavadoaka, Lamboharana) et du Manambo (Isifotra). *Côte Mahafaly,* région d'Androka (Sirafoza, Ambohitanga, Rotingano). Environ 50 tonnes dans la province.

Production. — La production totale déclarée à la douane pour Madagascar a été la suivante de 1911 à 1920.

ANNÉES	QUANTITÉS VERSÉES à la consommation.	QUANTITÉS EXPORTÉES	TOTAUX
1911	9 784 424	1 032 596	10 817 020
1912	8 273 413	1 835 609	10 109 022
1913	9 927 823	955 085	10 882 908
1914	7 170 760	1 264 692	8 435 452
1915	9 110 069	908 850	10 018 919
1916	9 228 457	1 104 842	10 333 299
1917	7 448 175	1 174 434	8 622 609
1918	9 039 990	1 731 844	10 771 834
1919	8 850 224	1 364 958	10 215 182
1920	10 507 095	1 478 560	11 985 566
TOTAUX. . .	89 340 430	12 851 470	102 191 900

Sel de plantes. — Ce n'est plus guère qu'au point de vue historique qu'il y a lieu de signaler dans le Massif cristallin le *sel de plantes* décrit tome I, page 192 — celui-ci est essentiellement constitué par du chlorure de potassium — et aussi, dans le Sud de l'île (régions d'Ihosy, du Mangoky), les terres salées. Jadis, chaque matin les indigènes grattaient ces dernières, puis les amassaient sur une natte qu'ils imbibaient de façon à constituer une boue liquide; celle-ci était ensuite filtrée sur une autre natte percée d'un trou qu'obturait un tampon d'herbe. Le filtrat, recueilli dans une jarre de terre, servait à une nouvelle opération, jusqu'au moment où sa saveur piquante annonçait le voisinage du point de saturation. La solution était alors évaporée sur le feu et le résidu sec, titrant environ 80 pour 100 de chlorure de sodium, était enveloppé dans de longues herbes en paquets d'environ 1 kilogramme ressemblant quelque peu à une bourriche de gibier. C'est sous cette forme qu'il était livré à la consommation.

II. — PHOSPHATE DE CHAUX.

A. — *Phosphate sédimentaire.*

Les observations de M. Perrier de la Bathie ont montré que les marnes du Crétacé inférieur du Boina et de l'Ambongo renferment des nodules phosphatés, souvent concentrés à la surface du sol par l'érosion. On trouvera tome I, p. 363 l'énumération des gisements reconnus ; le petit nombre d'analyses effectuées a mis en évidence qu'ils sont en moyenne assez pauvres en acide phosphorique ; des prospections sont nécessaires pour permettre de se faire une opinion sur leur valeur économique possible.

Un nodule d'Ambato (Boina) qu'a bien voulu analyser M. Girard renferme 25,6 pour 100 de P^2O^5, correspondant à 55,92 pour 100 de phosphate tricalcique.

B. — *Phosphate des îles coralliennes.*

Certainement plus riches sont les gisements qui ont été reconnus sur les îles coralliennes depuis les îles Glorieuses et Nosy Mangiho (Archipel de Nosy Mitsio), jusqu'à l'île Chesterfield, l'île Juan de Nova et les îles Barren (Nosy Androta, Nosy Andrano, Nosy Lava), Europa. Il s'agit là, non pas de guano, comme on le pense généralement, mais de *phosphorite*, constituée par de la colophanite, résultant de l'épigénie des calcaires coralliens sous l'influence des produits solubles de guano d'oiseaux de mer, rapidement lavés par les pluies si abondantes dans ces parages. C'est le genre de minerai phosphaté connu aux Antilles et dans le Pacifique, c'est-à-dire dans d'autres régions intertropicales à climat humide.

L'analyse donnée tome I, page 364, montre qu'à Juan de Nova la teneur en anhydride phosphorique de ces phosphates atteint 36 pour 100 en chiffres ronds, soit 73 pour 100 de phosphate tribasique de calcium, 4 pour 100 de phosphate de magnésie et 2 pour 100 de phosphate d'alumine. Ces phosphates ont été exploités plus ou moins activement, notamment par M. Herscher, auquel je dois les échantillons de l'île Juan de Nova que j'ai étudiés ; j'ai été documenté sur le produit des îles Barren et d'Europa par M. Perrier de la Bathie.

D'après une analyse de M. J. Orcel, le phosphate le plus riche des îles Barren titre 35,66 pour 100 de P^2O^5.

Dans toutes ces îles, le phosphate est surtout abondant dans les dépressions où viennent s'abriter les oiseaux de mer ; d'après les observations de M. Perrier de la Bathie, il semble que si, à Europa, il n'y a pas de dépôts riches, c'est à cause de lagrande superficie de l'île (environ 2 000 hectares), les oiseaux ne s'y concentrant pas sur une petite surface, comme sur les îlots plus petits.

Il faut noter que ces phosphates sont à peu près dépourvus de matière organique et qu'ils ne sont pas directement assimilables. M. Perrier de la Bathie m'a cependant signalé un peu de vrai guano, mêlé à de l'humus, dans quelques fentes des calcaires d'Europa.

Production. — Il a été exporté récemment de Juan de Nova 5 000 tonnes de phosphorite.

C. — *Guano des grottes.*

Sur la terre ferme, des grottes à guano de chauves-souris sont connues et même ont été plus ou moins exploitées dans le Massif d'Ambre, à la Montagne des Français, à Androfiabe (à l'extrêmité Sud-Est de la muraille de l'Ankarana), à Tsarabanja, en amont d'Anjiajia, dans la haute vallée du Manongarivo, etc.

Il serait intéressant d'étudier ces produits que je n'ai pas eus en mains et de les comparer à ceux que j'ai vu[1] se former à la ravine Saint-Gilles, à la Réunion.

Là, un tunnel naturel existant dans une coulée de basalte a été rempli par du guano de chauves-souris dont les produits solubles, dissous dans les eaux d'infiltration, suintent le long des parois, les attaquent et développent à leur surface ou dans leurs fentes une *minervite ammoniacale* (phosphate hydraté d'alumine et d'ammoniaque) d'un blanc de lait. La minervite épigénise aussi les fragments de basalte tombés dans le guano (elle est alors d'un jaune chamois); on la voit se former à la surface de ces roches en concrétions molles et gluantes ressemblant au premier abord à des champignons; par dessiccation, elles se transforment en une substance farineuse blanche ou jaunâtre s'écrasant sous le doigt.

La réaction qui donne naissance à ce minéral est du même ordre que celle ayant fourni le phosphate formé aux dépens des calcaires coralliens; il est vraisemblable que du phosphate bi-calcique se forme dans celles des grottes énumérées plus haut qui sont creusées dans le calcaire.

1. *Bull. Soc. franç. minér.*, t. XXV, 1912, p. 114.

III. — NITRE.

J'ai cherché à savoir d'où, avant l'occupation française, les Hova tiraient le nitre nécessaire à la fabrication de la poudre.

J'ai appris par M. Bouts, ancien ingénieur de la Reine, qu'ils l'extrayaient de nitrières artificielles formées dans les conditions habituelles.

Il n'existe pas à proprement parler de gisement de nitrate dans l'île.

IV. — SOUFRE.

Avant la conquête, le gouvernement hova retirait du soufre de la marcasite de deux gisements sédimentaires dénommés l'un et l'autre Antsolifara (où il y a du soufre) et qui, tous deux, se trouvent dans la région d'Antsirabe (voir page 184, tome I). Ce minerai a été traité en particulier dans les établissements de J. Laborde à Mantasoa.

Depuis quelque temps, une prospection a été faite aux environs de Diego-Suarez dans la baie de la Betaitra, à Antanamitarana, sur des lits pyriteux de 15 à 20 centimètres d'épaisseur, se trouvant au milieu des grès du Cénomanien; il s'agit là d'imprégnations de la roche sédimentaire par de la marcasite.

Il en a été exporté 3 tonnes en 1917, 135 en 1918, 65 en 1919, mais le gisement n'a pas été réellement exploité.

V. — MAGNÉSIE.

Le jour où Madagascar aura un développement industriel suffisant, il pourra être intéressant d'exploiter les gisements de carbonate magnésien. Les minéraux ayant de l'intérêt à ce point de vue sont la *giobertite* dont les gisements sont énumérés tome I, page 286.

La dolomie d'Ambodiala pourrait être utilisée comme produit réfractaire.

La giobertite, aussi pauvre en chaux que possible, est très recherchée actuellement pour la fabrication d'un ciment magnésien, obtenu en faisant réagir la magnésie caustique (la giobertite est dissociée par une calcination à 900° C.) sur le chlorure de magnésium. Ce ciment sert de base à la fabrication de parquets non joints, de meules, de pierres artificielles.

La giobertite se vend actuellement 100 francs la tonne en Eubée, prix prohibitif pour le minerai malgache.

La giobertite d'Ampangabe, sur le Jabo, est d'une bonne qualité industrielle. Son analyse faite par la Société française de produits magnésiens, sur un échantillon que je lui ai remis, a fourni les résultats suivants :

Carbonate de magnésium	95,60
Carbonate de calcium	1,70
Sulfate de calcium	0,15
Silice	1,72
Oxyde ferrique	0,50
Alumine	0,24
	99,91

VI. — *Potasse.*

Aujourd'hui, où l'on recherche avec activité toutes les sources possibles de potasse, il n'est peut-être pas sans intérêt de signaler que les grès verts albiens d'Ankomaka, sur le Manombo, au Nord de Tuléar, renferment des couches presque exclusivement constituées par de la glauconie ; elles titrent 5,9 pour 100 de potasse. Il serait intéressant de déterminer leur importance.

Depuis peu, l'on utilise, aux États-Unis, ce minerai pour l'extraction de la potasse.

CHAPITRE VII

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

I. — PIERRES A BATIR.

Depuis l'occupation française, il est fait à Madagascar un grand usage de la pierre, comme matériel de construction. Elle est en général prise sur place.

C'est ainsi qu'à Diego-Suarez, on emploie le basalte et le calcaire; la Montagne des Français fournit des calcaires roses susceptibles de prendre le poli et qui sont de véritables marbres : le calcaire est aussi utilisé à Analalava (carrière à Nosy Lava), Majunga, Marovoay.

Dans le Massif cristallin, les granites et les gneiss fournissent en abondance toutes les qualités possibles de matériaux de construction.

Les empierrements de routes se font, suivant les régions, en granite, en gneiss, en basalte, en quartz et au besoin en calcaire. La construction des routes, qui n'existaient pas avant 1896, demande des soins tout particuliers en raison de la topographie et de la nature du sol essentiellement argileux et des pluies torrentielles qui les détrempent sans relâche. L'empierrement joue donc un grand rôle et il faut assurer l'écoulement des eaux à l'aide de dispositifs sérieux. Dans les premiers temps de l'occupation, où il était nécessaire d'aller vite, les travaux d'art ont été tout d'abord exécutés en pierres sèches.

La construction du chemin de fer de la côte Est à Tananarive, avec ses tunnels, ses viaducs, ses aqueducs, ses ponts, ses murs de soutènement a nécessité l'emploi d'une énorme quantité de maçonnerie, effectuée avec tous les perfectionnements modernes; la gare de Tananarive est presque entièrement construite en granite et en gneiss.

Les carrières de granite et de gneiss que l'on voit le long de la voie, entre





Clichés Carle et Alluaud.

Fig. 1.

Fig. 2.

Pierre levée (*Vatolahy*) ; environs d'Ilafy (fig. 1). Pierre levée (tombeau Antanosy) avec *Ravenala*. Vallée de Fanjahira (fig. 2).

Brickaville et la capitale, témoignent de l'effort qui a été fait et de la révolution introduite par les Français dans l'art de bâtir à Madagascar.

Avant leur arrivée en effet, les Malgaches des Hauts Plateaux limitaient à peu près l'emploi de la pierre à la fabrication de leurs mortiers à riz, à l'érection de *pierres levées* que le voyageur voit avec étonnement dans la brousse, où elles lui rappellent les menhirs de la Bretagne, puis à la construction des *tombeaux* et des *portes de villages fortifiés*. Ces ouvrages sont établis avec des dalles en granite ou de gneiss peu micacé de $0^{m},05$ à $0^{m},25$ d'épaisseur et de dimensions plus ou moins grandes, dépassant souvent trois mètres [1].

Antérieurement à l'occupation française, les indigènes de la côte orientale dédaignaient complètement la pierre pour leurs constructions. Il n'en était pas tout à fait de même dans la région du Nord-Ouest, où de longue date s'est fait sentir l'influence arabe. Dans les ruines de Mahilaka, au fond de la baie d'Ampasindava, on a trouvé des moellons, taillés dans les calcaires coralliens récents, et portant des ornements de style arabe ; ils paraissent avoir décoré une mosquée. De même, les premières maisons en pierre construites par les Arabes et les Indiens à Majunga, étaient faites avec des blocs de polypiers ou à l'aide d'un béton dont il sera question plus loin.

A. — *Mode de travail indigène.*

Quelques renseignements sont nécessaires tout d'abord sur la façon dont les Malgaches extrayaient et transformaient les énormes blocs de pierres constituant leurs tombeaux, leurs pierres levées, etc. Ces procédés ne sont pas d'ailleurs complètement abandonnés.

Les dalles sont extraites de la façon suivante. La partie désirée est délimitée à l'aide de lignes droites sur lesquelles sont placés ensuite de distance en distance des amas de bouse de vache (ne contenant ni pierre, ni partie dure) séchée au soleil [2] ; celle-ci est allumée et le feu entretenu, doux et constant, de façon que jamais aucun des tas ne s'éteigne, aussi surveille-t-on l'opération jour et nuit, en ajoutant du combustible s'il est nécessaire. Le chauffage est prolongé jusqu'au moment, où lorsqu'en frappant assez fort avec une barre de fer sur toute la surface

1. Il existait à Tananarive quelques maisons de bois dont les fondations et la base étaient en moellons.

2. Des détails plus complets que ceux donnés plus loin sont fournis par MM. Alfred et Guillaume Grandidier dans leur *Histoire physique, naturelle et politique de Madagascar*. Volume IV. *Ethnographie*, t. III, 1917 (pp. 56, 72 et 237).

limitée par le feu, on obtient partout un son grave, analogue à celui produit par le choc du fer sur une dalle bouchant un trou. Quand ce résultat est atteint, il suffit de fendre la pierre avec un ciseau à froid en suivant les raies sur lesquelles se trouvait le feu; il ne reste plus qu'à soulever avec un levier la plaque très plate et très unie. Les détails de cette opération sont ceux qui sont encore en usage aux environs de Tananarive. A. Grandidier a observé autrefois l'emploi de l'eau pour déterminer l'éclatement de la pierre après son chauffage.

Au Nord de Tananarive, à Mahitsy, j'ai vu une exploitation de dalles de granite par l'emploi du feu. Il s'agit d'un granite gneissique qui se décolle parallèlement à la surface de la montagne, sans rapport avec son rubannement.

A une époque où il n'existait aucune route, le transport de ces énormes monolites, pesant parfois plusieurs milliers de kilogrammes, était une opération fort compliquée. Il était obtenu au moyen d'une sorte de traîneau formé de deux grosses poutres réunies par des traverses, sur lesquelles on fixait le bloc; dans les montées, on se servait de rouleaux. Souvent plusieurs centaines de personnes s'y attelaient et tiraient, au milieu des cris, par secousses successives, l'énorme masse qui avançait lentement, franchissant collines et vallées, tant que la saison était propice. Il fallait s'arrêter pendant la saison des pluies pour reprendre le travail au retour du beau temps. Ces transports duraient parfois plusieurs saisons sèches : la mise en place était souvent rendue difficile par ce fait que les tombeaux malgaches sont généralement situés sur des hauteurs.

a. — **Tombeaux.**

Les tombeaux sont particulièrement intéressants et sont encore construits par la même méthode[1]. La partie extérieure est généralement en pierres sèches, avec parfois une couverture en terre, mais la partie principale consiste en caveaux creusés dans la terre même : ce sont des sortes de chambres mortuaires dont la profondeur et les dimensions dépendent de la richesse des familles. Une large[2] dalle de granite ferme le caveau souterrain ; elle est parfois sculptée, roulant

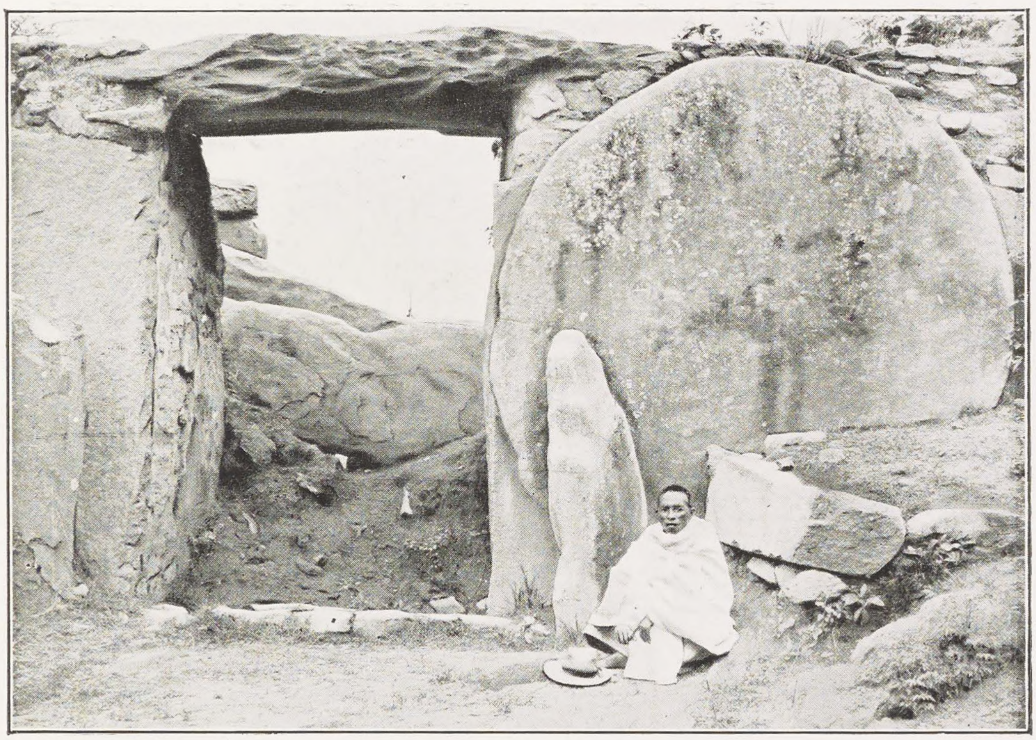
1. A chaque cérémonie funèbre, le chef de la famille entre dans le caveau, inspecte le corps des ancêtres et indique la place à donner au nouveau venu.

Ne peut être déposée dans le caveau de famille que la descendance directe. Les enfants rejetés légalement de la famille ne peuvent y prendre place ; en revanche y a droit la femme légitime, même après divorce, mais la seconde femme épousée légitimement après divorce n'y a pas droit, pas plus que ses enfants. Sont encore exclus du tombeau de famille les condamnés à mort, les sorciers, les lépreux, les femmes qui ont épousé un homme de caste inférieure — et les gens tués par une vache, tous étant considérés comme impurs.

2. Il en est qui ont jusqu'à 7 mètres sur 4.



Fig. 1.



Clichés Carle et Service géographique.

Fig. 2.

Exploitation du granite par le feu. Ambatonandriankobory (fig. 1).
Ancienne porte de Tananarive (gneiss) (fig. 2).



FIG. 1.



Clichés Alluaud.

FIG. 2.

Pierres levées (tombeaux Antanosy). Environs de Fort-Dauphin (fig. 1). Vallée de la Fanjahira (fig. 2).

sur des gonds creusés à même la pierre et tournée toujours du côté de l'Ouest. Quelques marches permettent d'accéder à cette porte verticale.

Les chambres sont revêtues sur tous les côtés de pierres plates, généralement superposées deux par deux. Ce sont de véritables couchettes sur lesquelles les corps sont déposés, enveloppés de lamba mortuaires (lamba rouges de soie indigène, dite du Betsileo); les lamba sont toujours en nombre pair, car un nombre pair est un nombre « complet ».

Les pierres des tombeaux, et en particulier celles qui, à l'intérieur, servent de couchettes, doivent être très plates et très lisses. Ces tombeaux sont parfois ornés de sculptures[1].

b. — Pierres levées.

Les pierres levées, appelées *vatomitsangana* (litt. pierres debout), *vatolahy* (litt. pierres mâles) ou, dans l'Androy, *kialoalo,* sont des monolites granitiques ou gneissiques érigés à la mémoire d'un parent dont le corps ne repose pas dans le tombeau des ancêtres ; ce sont parfois des sortes d'autels auprès desquels les indigènes viennent prier, faire des onctions de graisse sur les parois et déposer (sur leur sommet) des cailloux de quartz. Leurs dimensions varient de 2 mètres en moyenne, jusqu'à cinq mètres de hauteur sur 50 à 60 centimètres de large et 25 à 30 d'épaisseur. Ils sont débités par éclatement à l'aide du feu ou à coups de massue ; parfois ils sont équarris.

On trouve aussi de grandes pierres ornées de dessins géométriques (marché de Betafo), destinées à commémorer le souvenir d'un personnage important ou bien destinées à faire connaître au passant qu'un grand nombre de bœufs ont été immolés aux funérailles d'un parent dont le tombeau est proche.

Parmi les monuments commémoratifs, il faut encore signaler les *tatao,* ou amas coniques de pierres, que l'on rencontre particulièrement dans le pays Betsileo au bord des routes et qui indiquent les endroits où l'on s'est reposé en portant un mort à sa demeure dernière ; avant de se remettre en route, les assistants y déposent une pierre.

c. — Portes de village.

Les portes des villages fortifiés, qu'on fermait tous les soirs au coucher du

1. Les Malgaches dépensent souvent pour leurs tombeaux des sommes relativement considérables. Sur les bords de la Manandona, j'ai vu l'un d'eux habitant une case sordide, à côté d'un magnifique tombeau qu'il édifiait, pierre par pierre, au fur et à mesure de ses disponibilités; il s'était fait représenter, en ronde-bosse et grandeur naturelle, coiffé d'un haut de forme, sur la dalle de granite fermant l'entrée.

soleil sont tantôt en bois et tantôt constituées par une meule ou une roue de pierre qu'on roulait en travers de l'entrée.

La fig. 2 de la planche 20 représente une ancienne porte de Tananarive qui se rapporte à ce type. Dans d'autres cas, la porte rectangulaire roule sur des gonds qui s'ajustent dans des alvéoles creusées dans un montant de granite. Telle est la porte du village fortifié d'Ambohitrolomahitsy, que j'ai vue en allant de Tananarive au lac Alaotra.

II. — ARDOISES.

Les ardoises sont d'anciens sédiments argileux à pâte très fine, un peu métamorphisés, pouvant se débiter en feuillets minces ; il n'existe pas à Madagascar d'ardoises comparables à celles d'Angers ou des Ardennes, mais des quartzites noirs à grain fin, pouvant donner de larges dalles, malheureusement toujours assez épaisses (5 à 6 millimètres). Elles sont employées localement pour couvrir des maisons et même quelques édifices (palais de la Reine, à Tananarive) ; elles constituent des couvertures lourdes, et de transport difficile. Cette roche est un accident de la formation schisto quartzito-calcaire.

Comme gisement, il faut citer en particulier Ampandrana, au Nord-Nord-Ouest de Vatomaro, sur la rive gauche de l'Imalo (affluent de l'Andranomalaza), et près de cette rivière, ainsi que du filon de galène. Un autre gisement se trouve à 500 mètres à l'Est d'Ambatojirika, près de la route de Fenoarivo à Ambatofinandrahana. D'après M. Lavila, qui a visité la localité, les quartzites plongent de 50° vers l'Ouest et sont recouverts par des calcaires. Le banc a $2^m,5$ d'épaisseur et peut fournir des plaques mesurant $0^m,40$ en tous sens.

Le second centre est constitué par la région liasique de Nosy Be et par la presqu'île d'Ampasimena. Les pseudo-ardoises de cette région sont constituées par des cornéennes schisteuses, généralement noires et dures, plus ou moins métamorphisées par les roches éruptives. Herland a cité jadis [126] sur la pointe d'Ambanoro de tels schistes, se divisant en prismes quadrilatères réguliers qui mesurent $0^m,22 \times 0^m,20$, avec $0^m,05$ d'épaisseur. Ils peuvent être utilisés comme dalles, mais à l'Est de la petite rivière de Tafondro, ils deviennent franchement feuilletés. M. Dandouau m'a signalé sur les bords de d'Andriana (Nosy Be) des



FIG. 1.

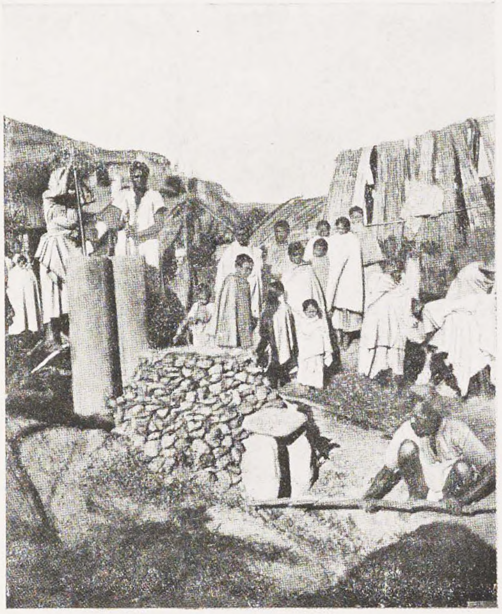


FIG. 2.



Cliché Orsini.

FIG. 3.

Malgaches pilant le riz dans des mortiers de *granite* (fig. 1). — Forge indigène (fig. 2).
Travertin en voie de formation sur le bord de la Mazy. Source de Mahatsinjo (fig. 3).

schistes fournissant des roches analogues et assez tendres pour pouvoir être taillées sous forme de crayons d'ardoise.

Sur le bord de la Grande-Terre, il faut encore citer Ambariotelo, au Nord d'Ambaliha, l'île des Tombeaux, puis, sur la Grande-Terre elle-même, l'Ouest d'Ambodimadiro et la pointe Sangajira, au Nord d'Anorontsangana.

III. — PIERRES A AIGUISER

Les quartzites, très compacts, de Tsarahonenana, sur l'Andromba, à 20 kilomètres au Sud de Tananarive, constituent des pierres à aiguiser de valeur moyenne ; on pourrait employer pour le même usage certains des grès métamorphiques de la province d'Ampasindava.

IV. — PIERRES A CHAUX ET CIMENT. MARBRES ET CALCAIRES.

Les *pierres à chaux* abondent dans la région sédimentaire, mais, par contre, elles ne se trouvent qu'à l'état sporadique dans le Massif cristallin sous la forme de calcaires intercalés ou de produits de sources thermales.

A. — *Chaux grasse.*

Les calcaires susceptibles de fournir de la chaux grasse ne doivent pas contenir plus de 7 pour 100 d'argile.

A ce type appartiennent les tufs des sources thermales (Mahatsinjo ; ce calcaire est en partie constitué par l'aragonite), les tufs déposés par des eaux froides dans la région sédimentaire (Tsararano, au débouché oriental des gorges d'Andavakoera, à la Montagne des Français, etc.) et aussi à la surface des cipolins du Sud de l'Onilahy. Ces tufs ne doivent pas renfermer une quantité importante de silice,

sans quoi, ils conduisent à des expériences fâcheuses dont Antsirabe a vu un exemple. De nombreux calcaires sédimentaires peuvent être aussi employés pour le même usage (calcaires sénoniens de Maevarano près de Majunga, etc.).

Enfin sur les côtes, les polypiers dragués dans la mer, servent aussi à la fabrication de la chaux (côte Est, Nosy Be, Sambirano, Comores, etc.).

Quant aux calcaires du Massif cristallin, ils sont généralement de valeur médiocre pour cette fabrication, à cause de leur fréquente richesse en magnésie, due à la présence de dolomite. La dissociation par calcination de la dolomite, en effet, se fait moins facilement que celle de la calcite et elle reste souvent incomplète dans les opérations industrielles ; de plus, même lorsque la calcination a été bien menée, le résultat est mauvais, car la magnésie ne s'hydrate pas en même temps que la chaux, mais seulement dans le mortier et avec augmentation de volume. Bien que les calcaires cristallins renferment dans leur composition globale de la silice et de l'alumine, ils ne peuvent donner que de la chaux maigre, parce que ces éléments y existent à l'état de combinaisons cristallisées qui ne sont pas détruites par la cuisson[1]. Ils pourraient être employés fructueusement pour le chaulage des terres du Massif cristallin si pauvre en chaux et peut-être aussi pour l'industrie métallurgique du fer quand elle sera organisée dans la Colonie.

B. — *Chaux maigre et chaux hydraulique.*

Ces types de chaux sont obtenus à l'aide de calcaires marneux ; la *chaux maigre* quand ceux-ci renferment de 5 à 12 pour 100 d'argile, la *chaux hydraulique*, à prise lente, quand cette teneur est comprise entre 12 et 20 pour 100.

La région sédimentaire fournit en très grande abondance des calcaires convenables pour la fabrication de ces chaux. Les types riches en minéraux clastiques sont à éviter.

Des fours à chaux fonctionnent dans les régions suivantes :

Région de Diego-Suarez et en particulier presqu'île du Cap de Tanifotsy (Aquitanien) ;

Environs d'Angorony, d'Ankaramy, de Maromandia (Lias et Jurassique) ;

Analalava, Nosy Lava (Jurassique) ;

Bemarivo, rive gauche de l'Ikopa près de Maevatanana (Lias). Majunga (Nummulitique).

1. On a fait quelque bruit sur un prétendu gisement de *spath d'Islande*, jadis découvert par Villiaume et qui existerait à 3 kilomètres au Sud-Sud-Ouest d'Ambatofinandrahana. Il s'agit en réalité d'un amas de calcite seulement translucide, fournissant d'énormes clivages, qui se trouve dans les calcaires cristallins. D'après M. Lavila, il affleure sur 10 × 30 mètres. L'absence de bois dans la région ne permet même pas de l'utiliser pour la fabrication de chaux.

C. — *Ciments.*

Les ciments à prise rapide sont faits avec des calcaires renfermant de 20 à 30 pour 100 d'argile. Les marnolites, qui sont plus argileuses, ne fournissent qu'un mauvais ciment.

Les calcaires marneux de la Montagne des Français peuvent être, par places, utilisés pour cette fabrication. M. Jamet se sert aussi de ceux du Nord des marais d'Andranomandevy, au Nord-Ouest de l'Ankarana.

D. — *Marbres et onyx.*

Certains calcaires cristallins de l'île pourraient fournir de beaux marbres blancs (Kiranomena en particulier) : mais, dans les conditions économiques actuelles[1], ils n'ont pas d'intérêt.

Par contre, il serait intéressant de rechercher si l'aragonite, à fibres très serrées, de Mahatsinjo ne pourrait pas être extraite en blocs homogènes suffisamment gros pour pouvoir être utilisés dans l'ornementation comme onyx.

V. — MINÉRAUX ET ROCHES UTILISÉS POUR LA FABRICATION D'OBJETS DIVERS.

Vatodidy.

Le sol de Madagascar renferme diverses roches assez tendres et assez homogènes pour pouvoir être aisément taillées ou sculptées (*vatodidy*, pierre qui se taille) et fournir des instruments domestiques, comme des marmites pouvant aller sur le feu ou bien d'autres objets, tels que des chandeliers, des statuettes, des pipes, etc.

Les Malgaches fabriquent encore quelques objets de ce genre (chandeliers, pipes), mais on rencontre surtout dans la Colonie, des vestiges d'ancienne fabrication, sur lesquels il n'existe pas de tradition orale. Je passerai successivement en revue les trois roches employées pour ces usages.

A. — *Chloritoschistes.*

A Antranovato, près Mahilaka, se trouvent des ruines d'origine arabe qui ont été décrites par M. Millot [3o5]. On y a rencontré en abondance des débris de marmites et de divers autres récipients, tous taillés dans un chloritoschiste amphibolique, inconnu en place dans la région.

Il n'en est pas de même pour la roche avec laquelle ont été faits des objets similaires rencontrés près de Vohémar, dans un ancien cimetière de la pointe des Filaos (Ankiekaratsy) ; ils sont recueillis dans des sépultures, associés à de la verroterie, à des assiettes chinoises, à des bracelets de cuivre et d'argent, à des sabres, etc. Les marmites, avec pieds, anses et couvercles, rappellent, par leur forme, les marmites de fonte actuellement en usage dans le pays. MM. Mouren et Rouaix ont décrit [3o6] les exploitations retrouvées par eux à l'Ouest et au Sud-Ouest de Vohémar, entre le Maintialaka et le Manambery, à Mahariba, Analafiena et Ankorimpo ; il existe probablement un gisement analogue plus au Nord-Ouest, à Toamasina, dans la vallée du Manambato. Tous se trouvent sur le bord d'un massif granitique et consistent en petits affleurements très limités (quelques dizaines de mètres carrés ou, au plus, un hectare à Ankorimpo). Les anciennes fouilles consistent en cônes de déblais assez réguliers, sauf du côté servant à l'évacuation des produits abattus. On y rencontre beaucoup de débris de marmites, ayant jusqu'à 28 centimètres de diamètre. L'exploitation se faisait en débitant de gros blocs cylindriques ou coniques qui étaient terminés ensuite au burin et au tour ; des marmites de ce genre ont été rencontrées, çà et là, en divers points du Nord de l'île et proviennent probablement du gisement qui vient d'être décrit.

Dans la région côtière du Nord-Ouest, on connaît un certain nombre de sculptures faites à l'aide de pierres tendres, probablement semblables aux précédentes, mais dont je n'ai pas eu d'échantillons en mains : pirogues et bœuf, près d'Angontsy sur l'Anonibe ; statue impudique de femme à Ratsianara (littéralement : appellation inconvenante), dans la presqu'île de Masoala, sur un affluent du Fompana.

B. — *Micaschistes latéritisés.*

Les micaschistes plus ou moins riches en sillimanite fournissent des *vatodidy*, rouges marbrés de blanc, assez employés.

M. C. Savaron a signalé récemment [3o7] à Lavakianja, entre l'Andrambo et le

Maroantovo, qui se réunissent pour former un petit affluent du Fanantara, un atelier du même genre que celui de la région de Vohémar. Là encore, on voit, en place, les traces de l'exploitation ancienne qui se faisait par le même procédé que dans le Nord. Les marmites du Fanantara sont ventrues et dépourvues de pieds. Il est intéressant de noter qu'avant l'introduction des marmites de fonte d'importation, les indigènes du Fanantara se servaient d'ustensiles fabriqués avec une terre graphiteuse et que la tradition des instruments de pierre était complètement perdue.

C. — *Stéatite.*

La stéatite du mont Bity et celle de Besafotra, à l'Ouest de Maevàtanana (variété impure de couleur foncée associée aux quartzites à magnétite) est employée encore aujourd'hui pour la fabrication de menus objets et en particulier de chandeliers[1] ; celle de la région d'Ampanihy (Mahafaly) est utilisée pour la fabrication des pipes.

L'éléphant de pierre (*Vatolambo*) d'Ambohitsara sur le Sakaleona est taillé dans une stéatite impure dont M. Lamberton m'a communiqué un fragment.

Production. — Il a été exporté une petite quantité de stéatite blanche (2 tonnes en 1911, 385 kilogrammes en 1912 ; 500 kilogrammes en 1921), elle provient particulièrement du massif du mont Bity.

D. — *Amiante (asbeste).*

a. — Propriétés et usages.

Le nom d'*amiante* ou d'*asbeste* est une désignation vulgaire de minéraux différents, possédant la propriété commune de se présenter sous la forme de fibres soyeuses, plus ou moins flexibles. Ce sont : 1° le *chrysotile,* ou bien 2° des *amphiboles* de nature variée : *anthophyllite* (ou gédrite), *trémolite* ou enfin *crocidolite.* (Pour la distinction, voir la description de ces minéraux dans le tome I).

Lorsque ces fibres sont longues et très flexibles, elles peuvent être filées, tressées ou tissées. Elles sont alors employées pour la confection d'objets incombustibles, tissus, cordes, fils, à l'exception cependant de la crocidolite qui est trop fusible.

1. Une variété impure de graphite formant des masses compactes est employée pour le même objet à Betratra, à l'Ouest-Sud-Ouest de Betafo.

Lorsque les fibres sont courtes et surtout quand elles ne sont pas flexibles, elles sont utilisées pour de nombreux usages qui se multiplient chaque jour. Comme isolateurs de chaleur, on les emploie notamment pour les entourages de pistons de machines à vapeur, pour les joints de tuyaux à vapeur, pour les enveloppes d'appareils de chauffe ou la fabrication des glacières. Pour plusieurs de ces usages, on mélange le minéral à de la magnésie ou à du ciment.

Pour d'autres emplois, on utilise à la fois leur pouvoir isolant et leur résistance aux hautes températures ou tout au moins leur incombustibilité; l'amiante sert à la construction d'intérieur de fours, mais surtout à la fabrication de matériaux de construction de toutes sortes. Mélangée à du ciment ou à de la terrre réfractaire, elle est utilisée aussi pour la confection de dalles, de tuiles, de moellons, de portes, de fenêtres, de pseudo-bois (alignum), etc.

Il faut citer encore la fabrication des filtres, des ustensiles de cuisine et de ménage et de multiples emplois pour les laboratoires, etc. [1].

b. — Gisements malgaches.

On comprend dès lors pourquoi, dans tous les pays du monde, l'on recherche avec activité ces minéraux ; il semble qu'ils existent en assez grande abondance à Madagascar, mais il y ont été jusqu'à présent à peine prospectés.

Tous les échantillons que j'ai vus appartiennent à l'anthophyllite ou à la gédrite et quelques-uns se présentent sous la forme de longues aiguilles très flexibles, bien que les amiantes de ce type d'amphibole aient la réputation de fournir surtout des types à fibres rigides.

Je citerai comme gisements paraissant intéressants la région des pegmatites du Nord d'Ankazobe, où sont exploités les béryls, et notamment les environs de Bevony (Tsaramasoandro) ; M. Krafft m'a communiqué de fort beaux échantillons de cette région, puis, dans la vallée de l'Onibe, Ambodiary et Vohitrovo, au Nord-Ouest de Tamatave. Les quelques renseignements que j'ai pu recueillir me font penser que ces minéraux se trouvent dans des amphibolites.

Je ne connais pas à Madagascar d'amiante à rapporter au chrysotile ; mais il serait intéressant de prospecter à ce point de vue les serpentines de la Colonie.

Production. — Les gisements ont été à peine prospectés. Les statistiques de sortie indiquent 324 kilogrammes en 1915 ; 125 en 1919 ; 143 en 1921.

1. Le service géologique du Canada a publié un intéressant ouvrage auquel je renvoie : Fritz Cirkel, *Amiante, chrysotile, gisements, exploitation, ateliers de préparation* et *usages*. Ottawa, Ministère des Mines, Division des mines, 1911.

VI. — ARGILES ET KAOLINS.

A. — *Argiles latéritiques.*

Emploi pour la construction.

Pisé. — Sur les Hauts Plateaux, les habitations indigènes sont construites en pisé et couvertes en chaume. Les argiles latéritiques se prêtent bien à ce genre de bâtisse et il existe à Tananarive des maisons à deux étages ainsi construites datant de plus de 40 ans. La couleur rouge rappelant celle du sol et tranchant sur la verdure des arbres donne à la capitale un aspect des plus pittoresques.

Le pisé se fait, à la façon malgache, sans aucun coffrage, mais seulement à une époque déterminée de l'année, comprise entre la fin de l'hivernage (avril) et juillet. Le mortier d'argile est gâché ferme et les assises, d'une hauteur variant entre $0^m,25$ et $0^m,50$, sont réglées à l'aide de battes en bois. Quand une assise est sèche, ce qui demande environ huit jours, l'assise supérieure est établie. La matière première est généralement extraite au voisinage même de la construction. C'est là un procédé économique, mais bon seulement pour gens qui ne sont pas pressés.

Dans l'Imerina, le pisé a été employé jadis par les Malgaches, quand la main-d'œuvre ne coûtait pas cher, pour la construction de *vala,* ou murs d'enceinte, hauts parfois de 4 à 5 mètres dont les Hova entouraient les fermes isolées et parfois des villages entiers. On peut en voir de nombreux exemples entre Tananarive et Ambodimanga et aussi sur les flancs de l'Ankaratra. Les conditions économiques ne permettraient plus de semblables débauches de murailles, qu'aujourd'hui d'ailleurs la sécurité du pays rend parfaitement inutiles.

Briques et tuiles. — On fabrique aussi en grande quantité des briques seulement séchées au soleil. On verra plus loin que l'une des propriétés de l'argile latéritique est la cohésion qu'elle prend par dessiccation.

Depuis l'occupation française, on fabrique avec ces mêmes argiles latéritiques des briques *cuites* et des tuiles ; les angles des bâtiments sont souvent montés à l'aide de briques cuites qui encadrent des briques crues.

Construction arabe. — Il est intéressant de signaler qu'avant l'occupation française, à Majunga, où depuis longtemps est installée une population musulmane, il était fait usage d'un mode de construction usité à Zanzibar et sur la côte de l'Est africain. Une certaine quantité d'argile latéritique était mélangée à de la chaux

vive (faite avec des polypiers) et arrosée lentement ; le mortier ainsi obtenu était placé entre coffrage et bourré à refus de moellons bruts de petite dimension. Ce béton, une fois sec, était enduit sur toutes ses faces.

Herland signale [341] qu'en 1856, l'on extrayait à Lokobe (Nosy Be) une argile qui était exportée à La Réunion et à Maurice.

B. — *Kaolin.*

Le kaolin n'est pas rare comme produit d'altération des granites et des pegmatites sur les Hauts Plateaux, des roches volcaniques acides dans l'Extrême-Nord ; il est généralement désigné par les indigènes sous le nom de *tanifotsy* (terre blanche).

Dans beaucoup de gisements, il est assez pur pour pouvoir être utilisé pour la fabrication de la porcelaine ; des essais ont été faits autrefois par J. Laborde à Mantasoa ; ils ont été repris récemment en petit à l'Ecole professionnelle de Tananarive par M. Naudon ; ils ont été couronnés de succès, mais il semble que, pour l'instant, les conditions économiques de la Colonie n'ont pas permis de développer cette industrie.

Taniravo. — Sous le nom de *taniravo* (terre gaie), on vend sur tous les marchés de Madagascar de petites galettes ressemblant à des fromages et qui sont constituées par du kaolin purifié par lavage ; l'examen que j'ai fait d'échantillons achetés en cours de route montre que cette opération est effectuée d'une façon très soignée, car ce produit marchand ne renferme souvent qu'une très petite quantité de quartz ; il est presque entièrement constitué par des paillettes de kaolinite. Sur les Hauts Plateaux, ces galettes, délayées dans l'eau, servent à de multiples usages notamment pour blanchir les casques et les chaussures.

Dans les villages importants de l'Imerina, à l'occasion des grandes fêtes régionales, les Malgaches font la toilette de leurs cases et les recrépissent extérieurement ; une couleur uniforme est adoptée dans toute l'étendue d'une région administrative. Le *taniravo* de la région d'Andramasina est employé dans une grande partie de l'Imerina, mais à Fenoarivo, localité située à 11 kilomètres à l'Ouest de Tananarive, on lui substitue une terre ocreuse d'un violet lie-de-vin, provenant des environs du petit Vontovorona, où abondent d'autres ocres diversement colorées.

Les Malgaches font aussi des offrandes de *taniravo* aux Vazimba ; dans leur pharmacopée, ce produit est employé comme succédané du bismuth et de la craie pour le traitement des diarrhées et de la dysenterie ; on en fait aussi des cataplasmes pour guérir les névralgies et les oreillons.

Géophagie.

Enfin, un dernier usage plus singulier doit être signalé : certains Malgaches mangent le *taniravo* ; ces géophages sont plus nombreux sur la côte orientale que sur les Hauts Plateaux.

Trois observations de géophages malgaches ont été publiées par MM. Fontoynont, Monnier et L. Robert d'une part[1], par MM. L. Robert et Rasamimanana d'autre part[2].

Les symptômes présentés par les trois malades, tous trois de sexe masculin, sont très sensiblement semblables. Les géophages ont à première vue l'aspect d'anémiés, c'est-à-dire que leurs muqueuses sont décolorées ; toutefois, la teinte des conjonctives, de la plante des pieds, de la paume des mains et des ongles est spéciale : elle est jaune paille ; il semble que la circulation sanguine soit complètement interrompue au niveau des ongles et des conjonctives, et de fait, il est impossible de trouver dans celles-ci aucun vaisseau sanguin. C'est pourquoi on a proposé de désigner cette anémie spéciale sous le nom d'*anémie porcelanique*.

En rapport avec cette anémie, on note une accélération de la respiration, une grande faiblesse musculaire et parfois des souffles au niveau de la pointe du cœur et dans les grosses artères. Le pouls est faible et bondissant.

Les troubles du côté de l'appareil digestif se manifestent surtout par une diarrhée de moyenne intensité, avec selles de couleur grisâtre, par une sensation de dureté très spéciale de l'abdomen, et souvent par une diminution de volume du foie. L'appétit est très diminué ou nul, la température reste normale. L'anémie peut se terminer par une véritable cachexie, ayant entraîné la mort dans un cas.

La dose de « *taniravo* » absorbée journellement par les géophages est très variable. On cite le cas d'un malade qui en ingérait de 50 à 100 grammes par 24 heures.

J'ai vu à Tananarive la photographie d'un homme de 29 ans, Rakotomanga (Observation de MM. Robert et Rasamimanana), entré à l'hôpital d'Ankadinandriana (Tananarive) pour le traitement d'une plaie. Deux mois de séjour lui avaient fait oublier ses habitudes de géophagie, mais la chambre qu'il occupait ayant été reblanchie au *taniravo,* il se procura d'abord du produit auprès des ouvriers, puis après leur départ, il gratta avec sa cuiller le mur contre lequel était placé son lit.

1. *Soc. Sc. médic. Madagascar*, 1910, p. 1-4.
2. *Ibid.*, p. 52-53.

VII. — GYPSE.

Il ne semble pas exister de gisements de gypse d'importance économique dans l'île. J'ai donné dans la description de ce minéral l'énumération des localités où cette substance a été trouvée dans les argiles. A ce propos, j'ajouterai qu'il y a quelques années, il a été trouvé aux environs de l'ancien cimetière de Diego-Suarez dans les marnes à Belemnites du Cénomanien des couches de gypse de 1 à 4 centimètres d'épaisseur, à l'aide desquelles le Service de la Voirie a fait une tonne d'excellent plâtre (communication de M. Dandouau).

Il serait intéressant de rechercher si le gisement du Sud-Est d'Ankirihitra (sur le chemin de Maevatanana) ne pourrait pas fournir ce minéral en quantité exploitable pour la fabrication du plâtre.

VIII. — EMPLOIS DIVERS.

A titre de curiosité historique, je rappellerai que les Malgaches ont utilisé les petits rognons de pyrite des argiles jurassiques et les Belemnites du Jurassique comme balles de fusil [*balahara* balle en pierre, *balanjirika* balle des brigands].

Baron a signalé notamment [109] le gisement de Belemnites du mont Tsitondroina, près Amberobe, comme ayant été particulièrement exploité pour cet objet.

CHAPITRE VIII

COMBUSTIBLES MINÉRAUX

I. — CARBURES D'HYDROGÈNE.

A. — *Groupe des hydrocarbures.*

a. — **Pétroles. Pissasphaltes. Asphaltes.**

Ces produits, auxquels il faut joindre les gaz hydrocarbonés naturels, ne sont pas des espèces minéralogiques définies, mais des mélanges complexes d'hydrocarbures non cristallisés dont la composition diffère suivant les régions considérées, mais est généralement assez constante dans chacune de celles-ci.

Il existe une continuité parfaite entre les types très fluides et d'autres solides. Les types coulants, depuis ceux qui sont très fluides jusqu'à ceux qui sont très pâteux constituent les *pétroles,* je réserve le nom de *pissasphalte* (synonyme de malthe) aux variétés pâteuses, au toucher poisseux, alors que celui d'*asphalte* est attribué aux types solides à la température moyenne des laboratoires.

Ces différences de consistance peuvent être d'origine primaire, pour les types liquides, être dues à la nature plus ou moins condensée des carbures constituants, mais elles sont aussi, surtout dans les types peu ou pas fluides, dues à des circonstances secondaires, à la disparition progressive, par évaporation, des huiles les plus volatiles ou à une transformation plus ou moins avancée, se manifestant d'abord par une perte d'hydrogène, puis par une fixation d'oxygène.

Formes et facies. — Les *pétroles* sont donc des liquides plus ou moins fluides, leur odeur est caractéristique; leur couleur varie du jaune pâle au jaune plus ou moins foncé, au brun ou au noir; le brun verdâtre est le plus commun. Ils possèdent souvent une fluorescence verte ou

bleuâtre; leur densité varie de 0,6 à 0,9. Leur coefficient de dilatation est relativement grand (K = 0,0008), propriété importante à connaître pour le transport des pétroles bruts.

Les *pissasphaltes* sont noirs, poisseux ; une légère élévation de température suffit à les faire s'étaler ; ils passent progressivement d'une part aux pétroles et d'une autre aux asphaltes.

Les *asphaltes* sont solides, ils ont l'aspect d'une poix noire ou d'un brun noir; ils fondent entre 90 et 100°C. Leur odeur est bitumineuse, leur densité, quand ils n'englobent pas de matériaux étrangers, varie de 1 à 1,8.

Composition chimique. — Les pétroles peuvent être rapportés à trois types, caractérisés par leurs carbures prédominants; ils sont respectivement représentés par les pétroles de Pensylvanie, du Caucase et de Galicie.

1° Pétroles essentiellement caractérisés par des *carbures saturés forméniques* (C^nH^{2n+2}) homologues supérieurs du méthane (CH^4). Il existe en outre une faible proportion de carbures aromatiques (C^nH^{2n-6}) dérivés de la benzine, ainsi que des composés oxygénés et sulfurés. Ces pétroles, exploités en Pensylvanie, sont accompagnés de gaz combustibles : méthane et ses homologues immédiats supérieurs (C^2H^6, C^3H^8, C^4H^{10}, etc.). Par distillation de ces pétroles bruts, on obtient 1° des *gaz* difficilement condensables (C^3H^8, C^4H^{10}, etc.); 2° des *éthers de pétrole* (C^5H^{12}, etc.) bouillant entre 45° et 70° C.; des huiles légères ou *essences de pétrole* (C^6H^{14} à C^8H^{18}) bouillant entre 70° et 120° C. ; 3° des *huiles lampantes* (huile de pétrole du commerce) (depuis C^6H^{14} jusqu'à $C^{16}H^{34}$) bouillant entre 150° et 280° C. ; 4° des *huiles lourdes*, bouillant jusqu'à 400° C.; 6° des *paraffines* cristallisables ($C^{24}H^{50}$ à $C^{35}H^{72}$) et enfin 7° des *goudrons*.

La *vaseline* et l'huile de vaseline résultent du traitement approprié des dernières portions renfermant encore des huiles lourdes.

2° Pétroles essentiellement constitués (80 à 90 pour 100) par des *carbures cycliques saturés* [carbures cycloforméniques, paraffènes, naphtènes (C^nH^{2n})] qui, à égale volatilité, ont une densité supérieure à celle des carbures forméniques. Les pétroles de Bakou, qui appartiennent à ce type contiennent en outre une petite quantité de carbures aromatiques [benzine (C^6H^6) et ses homologues jusqu'au cymène ($C^{10}H^{14}$)], ainsi qu'un peu de carbures (C^nH^{2n-8}).

Ces pétroles ne commencent à distiller qu'à partir de 150° C.; leurs gaz combustibles sont constitués par un mélange de CH^4 et de C^2H^4, accompagnés de CO^2. Par distillation, ils fournissent des produits industriels analogues comme propriétés aux précédents, mais de composition différente.

3° Pétroles caractérisés par le mélange des deux types précédents; ils contiennent généralement des proportions très notables, mais variables, de carbures aromatiques; les pétroles de Galicie et d'Alsace sont à rapporter à ce type intermédiaire.

Les *asphaltes* sont très variables de composition et d'ailleurs assez incomplètement étudiés; d'après Dana, on peut y rencontrer : 1° peu ou pas d'huile volatile à 100° C.; 2° des huiles se vaporisant entre 100° et 250° C. et pouvant former jusqu'à 85 pour 100 de la masse; 3° une résine soluble dans l'alcool; 4° un bitume noir soluble dans l'éther, insoluble dans l'alcool, pouvant constituer de 15 à 85 pour 100; 5° un autre bitume insoluble à la fois dans l'alcool et dans l'éther et 6° des substances azotées qui expliquent la teneur de 1 à 2 pour 100 d'azote mise en évidence par certaines analyses. Les variations de composition de ces asphaltes tiennent à la fois à l'origine des pétroles transformés, à la nature et à l'intensité de cette transformation.

Gisements.

Depuis fort longtemps, les indigènes de l'Ouest connaissent des suintements de pissasphalte émis lentement par des fissures des grès triasiques et se solidifiant à l'air en donnant un asphalte très pur[1] à cassure conchoïdale, quand ils ne se mélangent pas à la terre. Les malgaches en utilisent les produits (*sakapanga*) pour le calfatage de leurs pirogues. Dans toute cette région, il est fréquent de voir, à la surface des mares et des cours d'eau, des taches irisées produites par des huiles minérales [Cf. 223, 248, 259, 262, 292].

Ces indices ont été l'origine des recherches pour le pétrole effectuées depuis quelques années dans la Colonie. Les permis de recherches couvrent actuellement plus de 300 000 hectares et 1 800 000 ont été réservés par la Colonie. Il y a lieu de signaler les centres suivants :

Région de Ranohira. — Dans les grès permo-triasiques de Ranohira et du Menamaty des indices ont été signalés sur lesquels je n'ai pas de précisions.

Bassin du Manambolomaty. — Dans les grès triasiques (souvent riches en troncs d'arbres silicifiés et en dykes éruptifs) du Betsiriry, à l'Ouest et au Nord-Ouest d'Ankavandra, entre le Bongolava et le Bemaraha, dans la portion du bassin du Manambolomaty, affluent du Manambolo, limitée par les parallèles de Beravina et d'Ankavandra, il faut signaler en particulier les suintements de l'Ouest de Maroaboaly, au Sud-Sud-Est du mont Ambohitralika et ceux de la rivière Akondromena qui ont déterminé des travaux de sondage.

Dans la partie septentrionale de ce district, à 2 kilomètres et demi au Nord de Folakara, sur la rive gauche du Manambolomaty, divers sondages ont été effectués aussi par deux compagnies anglaises. Ceux de 1909 à 1910 ont été poussés jusqu'à 214 mètres dans des grès à grain moyen et des argiles plus ou moins schisteuses. Des traces d'huile auraient été observées à partir de 150 mètres, puis, en 1911, à 140 mètres on aurait constaté l'existence d'une huile épaisse et à 171 mètres une huile du même genre, avec gaz inflammable. M. Levat, auquel sont empruntées ces indications [223] a donné l'analyse suivante du produit de l'un de ces sondages : gazoline 14,00 ; kérosine 25,80 ; huile de graissage 40,50 ; paraffine 1,90 ; gaz et perte 3,90. Les travaux de recherche ont été interrompus en 1920. Tous ces sondages ont fourni de l'eau salée.

M. Bonnefond m'ayant communiqué un échantillon de pissasphalte provenant

1. La collection du Museum renferme des échantillons de ce genre provenant de Berafia et d'Antranotakatra.

de Maroaboaly, au Sud-Est de Folakara, j'ai prié un spécialiste autorisé, M. Guiselin, de l'examiner au point de vue de ses propriétés ; voici les résultats de son étude.

Le produit est poisseux, il s'étire en fil à la façon de la poix ; chauffé lentement, il fond rapidement en laissant dégager au début une odeur camphrée, rappelant celle de certains pétroles bruts de Russie et du Texas. Chauffé sur une lame de platine, il fond en dégageant une odeur passagère de caoutchouc, particulière au bitume provenant de l'oxydation des pétroles bruts, puis il distille, avec une odeur de graisse neutre différente de celle des brais de houille et de pétrole. Il s'agit là d'un pétrole brut secondaire, provenant de l'oxydation, et non de l'évaporation, d'un pétrole brut primaire.

Ces propriétés une fois déterminées, le produit a été soumis aux essais suivants : maintenu à l'étuve à 150°, il se boursoufle en abandonnant de 2 à 3 pour 100 d'humidité, puis il laisse déposer environ 25 pour 100 de sa masse de matière terreuse renfermant des débris organiques. La partie surnageante, très fluide à 125° C., a été décantée, puis distillée. Elle donne ainsi 55 pour 100 (en poids) d'une huile lourde odorante, ayant une densité de 0,89 à + 15° C. et émettant des vapeurs inflammables à 50°. Environ 50 pour 100 de cette huile distille avant 350° C. et 50 pour 100 au-dessus ; elle constitue une bonne huile pour moteurs et chauffage industriel.

Le résidu, constituant 45 pour 100 de la masse, est un coke gras à longue flamme ; fortement chauffé, il dégage d'abondantes matières volatiles qui brûlent avec une flamme fuligineuse ; elles représentent 40 à 50 pour 100 de ce coke et 18 à 22,5 pour 100 de la matière brute.

Le résidu de cette carbonisation laisse des cendres correspondant à 35 pour 100 du poids du coke gras, à 65 pour 100 du coke sec et à 15 à 16 pour 100 de la matière brute.

En résumé, la composition du pissasphalte de Maroaboaly est la suivante :

Huile lourde pour moteur.	55 pour 100
Gaz riche.	20 —
Coke cendreux.	25 —

La conclusion dernière est que ce produit est comparable à la poix des affleurements des régions pétrolifères, dans lesquels le pétrole a été oxydé à la suite d'un long trajet souterrain. Aux affleurements de tous ces gisements le *pissasphalte* durcit à l'air et se transforme en *asphalte* fragile, à cassure conchoïde ;

Un nombre considérable de piquets de recherche ont été plantés dans ces deux

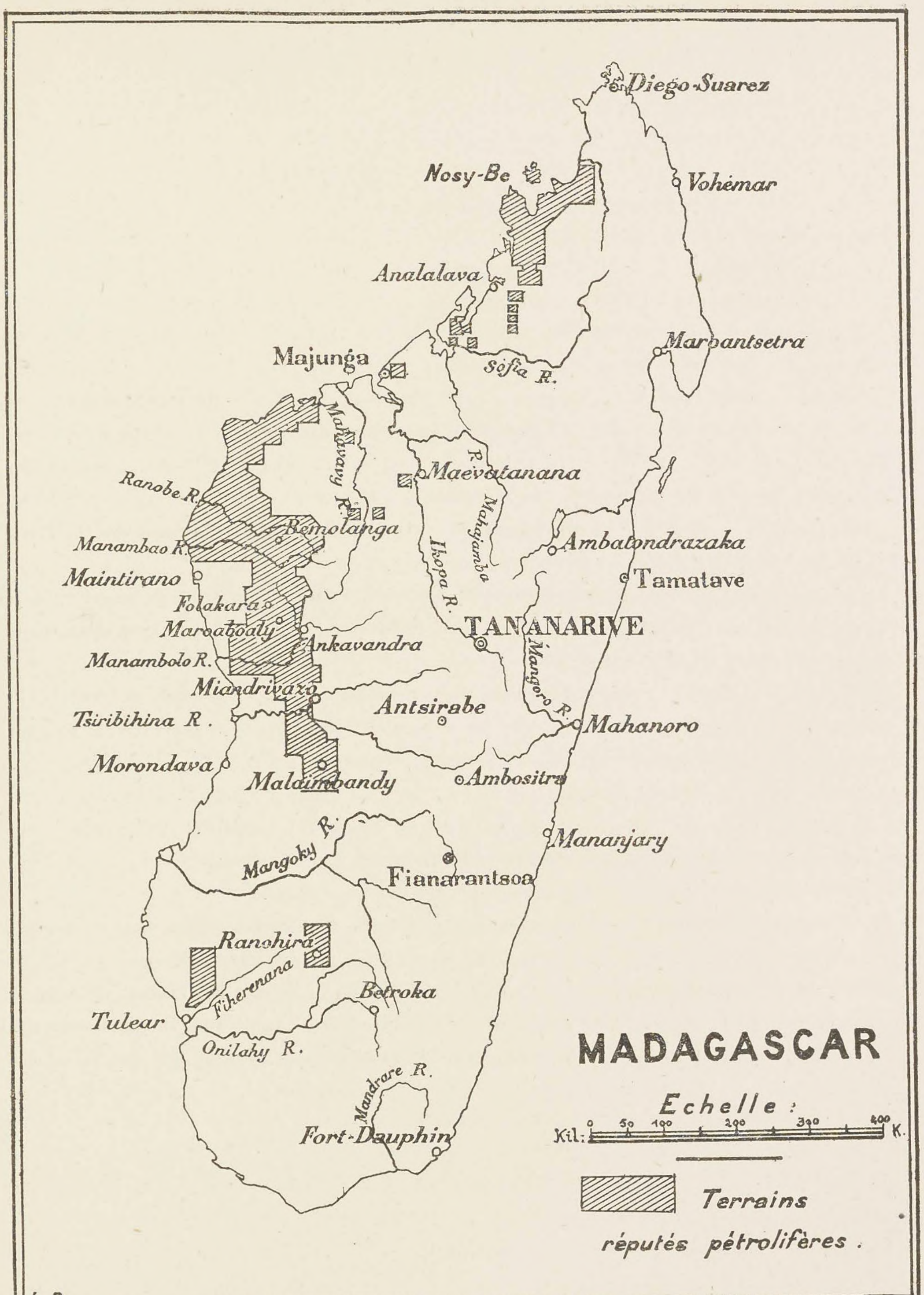


Fig. 5. — Régions prospectées pour le pétrole et l'asphalte.

régions. Jusqu'ici rien n'a transpiré de précis au sujet des travaux de prospection faits par diverses compagnies françaises et étrangères.

M. Levat a insisté sur la recherche des anticlinaux pour choisir la place des sondages à effectuer. Des renseignements que j'ai réunis sur la tectonique de cette région me font penser qu'il faut sans doute chercher dans une autre direction. Ces régions ne sont pas plissées, les couches grèseuses sont presque horizontales, avec légère pente vers l'Ouest, ou tout au moins, elles ne présentent que des ondulations à grands rayons de courbure ; elles sont extrêmement faillées et traversées par des dykes de roches éruptives ; il paraît y avoir une certaine analogie de structure, roches éruptives mises à part, avec le bassin de Pechelbronn en Alsace. En tous cas, il serait prématuré d'insister davantage sur cette question.

Bassin du Ranobe. — Dans les grès et les marnes à bois fossile des bassins du Ranobe et son affluent de gauche la Mitsotaka, et en particulier au Nord et à l'Est de Morafenobe, région où abondent les dykes de roches éruptives (Bedo, 6 kilomètres Est-Nord-Est de Morafenobe, etc.).

Le pissasphalte y forme parfois aux affleurements de petites flaques de quelques dizaines de mètres ; il paraît plus fluide que celui du Betsiriry : par consolidation il donne un bel asphalte compact.

Je dois à M. Merle, qui a publié autrefois d'intéressantes observations sur cette région [224], des échantillons de grès imprégnés d'asphalte qui devient de moins en moins visqueux à mesure que les observations sont faites plus loin de la surface. Ces grès occupent de très grandes surfaces à Bemolanga, à 25 kilomètres au Nord-Est de Morafenobe, où des prospections sont en cours d'exécution ; elles ont pour but l'exploitation à ciel ouvert de ces grès bitumineux et non point la recherche d'hypothétique pétrole. On projette de les traiter sur place.

M. Merle m'a communiqué les résultats suivants d'analyses faites sur les minerais de Bemolanga : 1, 3, 4, 5 par M. Perpérot, à l'École de Physique et de Chimie industrielle de la ville de Paris, 2, par M. Plotton et 6 par M. Gault, directeur du laboratoire du pétrole de l'Institut de Chimie de l'Université de Strasbourg.

Les échantillons transportés dans des récipients non étanches ont été analysés plusieurs mois après leur prélèvement. 1 à 3 constituent le minerai proprement dit, 4 à 6 des produits de suintement. Il est assez extraordinaire que ces derniers renferment moins d'essence que les produits d'imprégnation et il est vraisemblable qu'ils ont été chauffés pour pouvoir être introduits dans les bidons qui les contenaient. Il serait nécessaire de refaire des essais sur des matériaux recueillis avec des précautions convenables[1].

1. Au moment du tirage de cette feuille, me parvient un mémoire de M. Évesque sur ces gisements

	NATURE des ÉCHANTILLONS	HUILE BRUTE teneur en litres à la tonne de minerai (huile déshydratée).	HUILES LÉGÈRES pour cent en *poids* de l'huile brute. Essence (70° à 180°)	Lampant (180° à 280°)	Total	HUILES LOURDES de graissage (280° à 360°) pour cent en poids de l'huile brute.	MAZOUT et résidu pour cent de l'huile brute.
1	Sable asphaltique.	70	26,4	24,1	50,5	non séparées du mazout	non dosés
2	id.	100	13,1	34,5	47,6	id.	id.
3	Grès compact.	60	6,0	32,4	38,4	36,4	25,2
4	Asphalte terreux.	257	6,7	43,9	50,6	37,1	12,5
5	Pissasphalte.	660	3,3	23,3	26,6	40,0	33,3
6	id.	700	7,0	12,0	19,0	73,0	8,0

Région d'Analalava. — Une autre région a été aussi couverte de piquets de recherches. C'est celle qui est comprise entre la baie d'Ampasindava et Analalava. Levat a été l'initiateur de cet engouement qui a eu pour point de départ un passage d'un rapport de Villiaume concernant le sondage qu'il effectuait en 1899 pour la recherche du charbon, à $1^{km},5$ d'Ankaramy, sur la rive gauche de la Bekinkiny. Ce sondage, qui a été arrêté à 119 mètres, a recoupé plusieurs niveaux bitumineux, notamment à 86 mètres. Villiaume a signalé alors que son trépan a été à plusieurs reprises enduit de bitume ; ces sondages ont mis en évidence la présence d'eaux salées. Je ne crois pas que de nouvelles recherches aient été faites depuis lors.

Bassin de l'Onilahy. — Enfin, M. Perrier de la Bathie m'a signalé des suintements de bitume au pied de la falaise éocène, au Sud de l'embouchure de l'Onilahy près de Tuléar.

B. — *Résines subfossiles (pseudo-succin).*

Les ouvrages anciens de Minéralogie indiquent l'existence de succin (ambre) à Madagascar. J'en ai vu des échantillons dans de vieilles collections. Tout récemment, un bel échantillon d'une résine ambrée rejetée par la mer à Loholoka, près de Mananjary, a été offert à l'Académie malgache (*B. A. M.*, X, 1913, 36).

Tandis que le *succin* fond entre 360° et 365° C. et la *rétinite* entre 250° et 150° C., les résines de ce genre, qui sont tantôt jaunes de diverses nuances et

[261 *bis*]. Il a observé des termitières construites sur des grès bitumineux et du sommet desquelles s'échappent de petites coulées de pissasphalte, qui s'écoulent à leur pied en flaques de plusieurs mètres carrés. On aurait trouvé des veinules d'*ozocérite* de 1 à 2 centimètres d'épaisseur. Ce mémoire contient quelques dosages effectués à l'École des Mines de Paris, sous la direction de M. Chesneau.

tantôt blanchâtres, fondent au-dessous de 140° C. Ce sont en réalité des résines subfossiles de Césalpinées, encore vivantes, qui se sont répandues à terre, y ont été enfouies pendant plus ou moins longtemps, puis ont été ensuite arrachées par les eaux et charriées par les rivières et les fleuves, parfois jusqu'à la mer.

II. — COMBUSTIBLES FOSSILES.

Les combustibles fossiles résultent de la décomposition, sous une action microbienne, de végétaux d'âge géologique varié; ils dérivent par conséquent plus ou moins directement de la cellulose $(C^6H^{10}O^5)^x$ qui constitue les organes de soutien de toutes les plantes; celle-ci a perdu de l'hydrogène et de l'oxygène au cours de la fermentation et le résidu s'est ainsi enrichi en carbone.

Il existe une série continue s'étendant de la *tourbe,* dont la composition est voisine de celle des végétaux vivants, jusqu'à l'*anthracite,* presque entièrement constitué par du carbone. Les *lignites* et les *houilles* sont les stades intermédiaires de cette série. L'étude micrographique permet, dans bien des cas, de préciser la nature des végétaux dont la transformation a donné naissance à ces combustibles.

Les combustibles fossiles peuvent être distingués les uns des autres, grâce à leurs caractères morphologiques et surtout grâce à leur constitution chimique dont dépendent leurs propriétés calorifiques et par suite leur intérêt économique. Ils présentent tous la caractéristique commune d'être complètement solubles au-dessous de 100° C. dans un mélange de chlorate de potassium et d'acide azotique; ils se transforment alors en acides bruns.

Les seuls combustibles rencontrés à Madagascar sont la *houille,* le *lignite* et la *tourbe*.

A. — *Houille.*

Les houilles sont d'un noir de velours; leur éclat est résineux et vitreux; leur rayure est noire; elles prennent souvent des irisations superficielles; la densité, variable avec la teneur en matières volatiles, varie de 1,25 (*houille sèche*) à 1,35 (*houille maigre*); la dureté de 2 à 2,5. Les houilles brûlent en donnant une flamme plus ou moins longue suivant la teneur en matières volatiles, elles se transforment en une masse bulleuse qui est le *coke*.

Les houilles sont fragiles, leur structure est compacte, parfois rubanée ou schisteuse. Elles se divisent souvent en lames, en feuillets dans la direction des strates, alors que dans les autres directions, la cassure est conchoïde ou inégale. D'autres fois, elles se divisent en solides polyédriques par suite de retrait.

Les gisements houillers renferment fréquemment une substance pulvérulente ou tendre, terne,

tachant les doigts, désignée sous le nom de *fusain*; elle est constituée par du bois, à peine transformé par carbonisation; son aspect est celui du charbon de bois et notamment celui de fusain.

Je donne ci-contre la classification des houilles adoptée dans l'*Atlas général des houillères* de MM. E. Gruner et Bousquet; les nombres qui figurent sur ces tableaux se rapportent au cas où l'on a déduit les cendres dues à des impuretés, la pyrite et enfin l'humidité dont les proportions, fort variables, ont une très grande influence sur la valeur du combustible.

	COKE	MATIÈRES VOLATILES	NATURE DU COKE	POUVOIR CALORIFIQUE RÉEL	POUVOIR CALORIFIQUE INDUSTRIEL
	pour 100	pour 100		calories.	kilog. d'eau à 0° vaporisée à 112° par kg. de houille
1. Houilles sèches à longue flamme.	55 à 60	45 à 40	Pulvérulent ou légèrement fritté.	8 000 à 8 500	6,70 à 7,50
2. Houilles grasses à longue flamme.	60 à 68	42 à 32	Complètement aggloméré et généralement fondu.	8 500 à 8 800	7,60 à 8,90
3. Houilles grasses *stricto sensu*.	68 à 74	32 à 26	Fondu et plus ou moins boursouflé.	8 800 à 9 300	8,40 à 9,20
4. Houilles grasses à courte flamme.	74 à 82	26 à 18	Fondu, compact.	9 300 à 9 600	9,20 à 10
5. Houilles maigres anthraciteuses.	82 à 90	18 à 10	Légèrement fritté, le plus souvent pulvérulent.	9 200 à 9 500	9 à 9,50
6. Anthracite.	90 à 92	10 à 8	Pulvérulent, décrépite souvent.	9 000 à 9 200	9

	C	H	O + Az	$\frac{O + Az}{H}$
1. Houilles sèches à longue flamme.	75 à 80	5,5 à 4,5	19,5 à 15,5	4 à 3
2. Houilles grasses à longue flamme.	80 à 85	5,8 à 5,0	14,2 à 10,0	3 à 2
3. Houilles grasses *stricto sensu*.	84 à 89	5,0 à 5,5	11,0 à 5,5	2 à 1
4. Houilles grasses à courte flamme.	88 à 91	5,5 à 4,5	6,5 à 4,5	1 environ.
5. Houilles maigres anthraciteuses.	90 à 93	4,5 à 4,0	5,5 à 3,0	< 1
6. Anthracites.	93 à 95	4,0 à 2,0	3,0 à 2,0	1 à 0,5

Gisements.

La découverte de charbon paléozoïque et appartenant vraisemblablement au Permien, comme les charbons du Transvaal, est due à Colcanap [261].

J'ai donné dans le tome I (page 57) quelques détails sur la constitution géologique de ces formations anciennes qui ont été observées au Nord et au Sud de l'Onilahy, dans la région de Benenitra. Des renseignements plus circonstanciés fournis par M. Bonnefond [258], à la suite d'une prospection de M. Evesque, il faut retenir, au point de vue pratique qui seul m'occupe ici, qu'au-dessus

d'un conglomérat, qui sert de base aux formations sédimentaires de cette région,

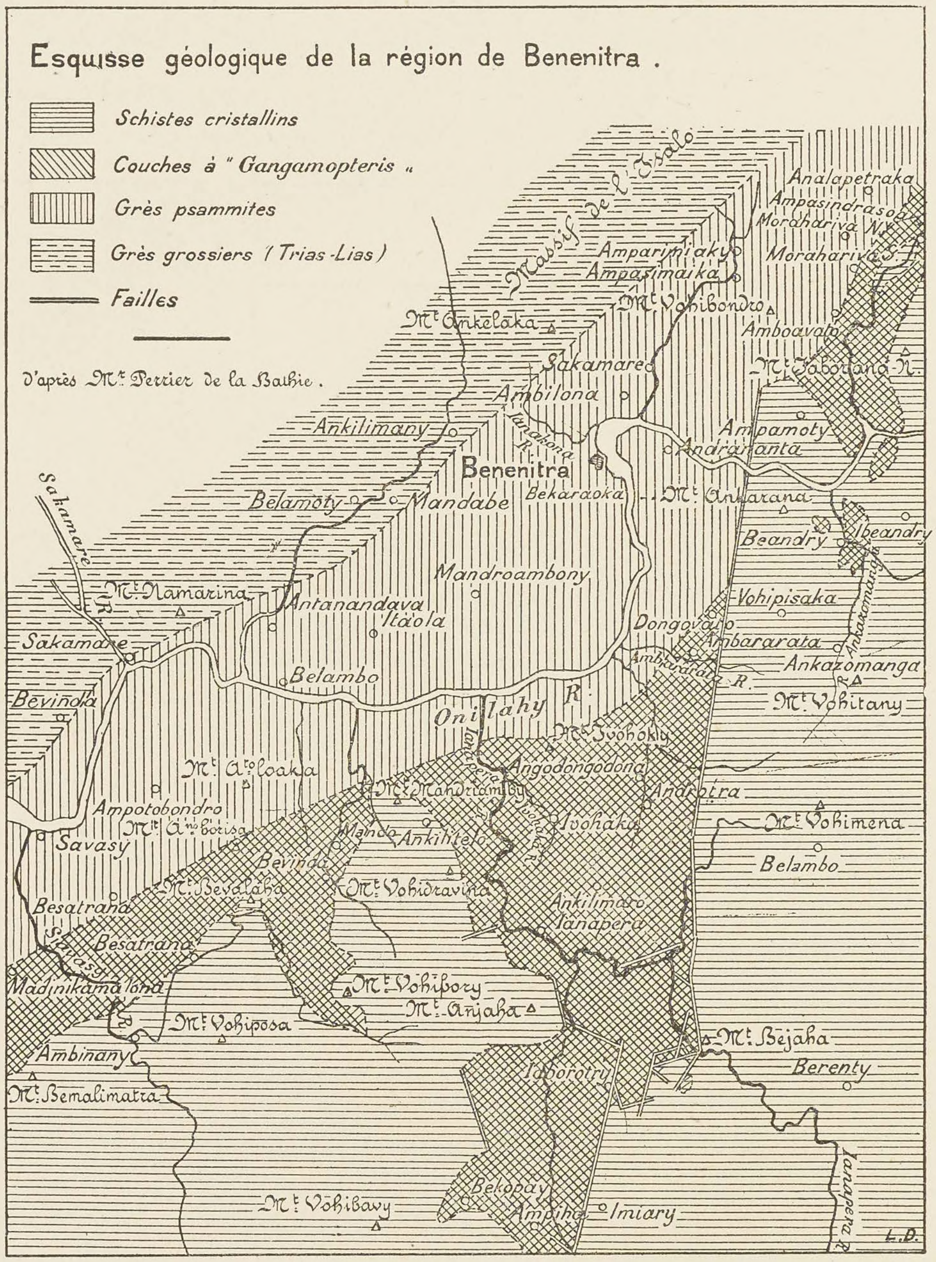


Fig. 6. — Esquisse géologique du bassin charbonnier de l'Onilahy.

se trouvent des assises gréseuses, à la partie inférieure desquelles ont été observés les lits charbonneux [couches : *gangamopteris* (surface quadrillée)].

La figure 6 donne, d'après M. Perrier de la Bathie, la constitution géologique du district charbonnier qui est morcelé par de nombreuses failles. La prospection, effectuée par M. Evesque pour le compte du Service des mines, n'a attaqué que les affleurements.

Au Nord de l'Onilahy, dans les alentours d'Ambohibaty (Amboavato) (rive droite de l'Imaloto), ces lits charbonneux sont peu épais et affectent une allure lenticulaire, alors qu'au Sud de Benenitra, dans la vallée de l'Ianapera, ils présentent un développement plus considérable. M. Evesque y a rencontré quatre couches superposées, mesurant respectivement, de la base au sommet, $0^m,60$, $0^m,10$, $0^m,60$ et enfin $2^m,50$ de puissance; le charbon y est toujours associé à des schistes noirs carburés auxquels il passe et cet ensemble est interstratifié au milieu des grès. Dans le ravin d'Amborompotsy a été rencontrée une couche de $0^m,50$ d'épaisseur, associée aussi à des schistes carburés.

Le charbon de l'Ianapera et d'Ambohibaty, examiné pour la première fois par M. Zeiller, est composé de strates se débitant suivant des plans parallèles. On y distingue des alternances de lits brillants, assez durs, et de feuillets ternes, friables, à aspect de fusain.

Les analyses qui sont données plus loin montrent que ce charbon est très riche en cendres et assez pyriteux; essayées à ce point de vue, les couches brillantes en ont fourni 11,46 et le fusain 22,60 pour 100, avec une moyenne pour l'ensemble de 17,74; ces deux qualités entrent donc à peu près en égale proportion dans l'échantillon analysé (*a*).

Ces premiers résultats sont encore bien vagues et ils ne permettent pas d'apporter des conclusions définitives que seuls pourraient fournir des sondages méthodiques. Il est fort possible qu'en profondeur la qualité du combustible soit meilleure.

ANALYSE FAITE PAR LE LABORATOIRE D'ESSAIS DE L'ÉCOLE DES MINES [258]

	AMBOHIBATY	IANAPERA				AMBOROMPOTSY
	a	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*
Eau à 100-110° C.	7,58	3,40	4,02	3,38	3,98	2,42
Matières volatiles.	31,42	29,00	27,38	29,77	29,22	31,68
Carbone fixe.	43,26	44,36	43,36	42,31	41,16	47,66
Cendres.	17,74	23,24	25,24	24,54	25,64	18,24
Pouvoir calorifique (Obus Malher) sur échantillon desséché à 100-110° C.	6 387 cal.	5 765 cal.	5 670 cal.	5 724 cal.	5 501 cal.	6 515 cal.
Soufre pour 100.	1,78	0,76	1,08	0,71	1,05	1,30
Azote pour 100.		0,70	0,63	0,93	0,75	0,91

B. — *Lignites.*

Les lignites possèdent des structures et des aspects variés. Le type le plus commun est terne, plus ou moins schisteux et friable, avec une structure ligneuse souvent encore apparente. Il existe aussi des lignites terreux dont une variété, d'un brun clair, douce au toucher, constitue la *terre d'Ombre*. Le *lignite piciforme* est compact, d'un noir luisant, à cassure conchoïdale et à aspect de poix, il rappelle parfois la houille. Le *jayet* en est une variété, particulièrement homogène, susceptible d'un beau poli qui le fait employer en joaillerie pour la fabrication de menus objets.

Tous les lignites ont la poussière brune. Leur densité varie de 0,5 à 1,30.

Les lignites se distinguent des houilles par la plus grande quantité de matières volatiles qu'ils fournissent par distillation (50 à 75 pour 100) en laissant, non pas du coke, mais une sorte de braise qui continue à brûler, même quand la flamme est éteinte; elle conserve la forme du lignite expérimenté. Le lignite s'allume facilement et brûle avec flamme et fumée noire, en dégageant une odeur bitumineuse.

La composition centésimale varie dans les limites suivantes : carbone 75 à 55 pour 100; hydrogène 2,5 à 5,7; oxygène et azote 17,5 à 36 pour 100. Les lignites sont généralement plus ou moins pyriteux.

A l'inverse des houilles et des anthracites, les lignites colorent en brun la solution de potasse; ils se dissolvent dans l'acide azotique et dans les hypochlorites.

Gisements.

Trias et Lias. — A la suite d'observations faites en 1854 par Jan et Lombardeau, un rapport au Ministre des Colonies publié dans les Annales des mines [264] a fait naître de grandes espérances au sujet de gisements de houille signalés dans la presqu'île d'Ampasimena, dans le Nord-Ouest de Madagascar. Les prospections de Guillemin-Tarayre, faites 10 ans plus tard [262], celle de Guinard, Rigaud et Thibon en 1889 [265] dans la presqu'île d'Ampasimena et notamment dans les environs d'Ambavatoby, puis plus tard (1899) les sondages effectués par Villiaume à Andriana (Nosy Be) et à Ankaramy (sondages poussés jusqu'à 119 mètres de profondeur); ceux de la Société franco-malgache à Ampasibe, enfin les observations géologiques de M. Lemoine [192] ont peu à peu conduit à élucider cette question et les conclusions dernières ne sont pas conformes aux espérances formulées tout d'abord.

Dans la formation du Lias supérieur dont les couches presque horizontales s'inclinent en pente douce vers l'Ouest, et au milieu d'alternances de grès, d'argiles et de schistes à empreintes végétales avec quelques bancs de calcaire, il existe bien des lits de matière charbonneuse. Généralement très minces, ils

constituent localement des lentilles discontinues dont l'épaisseur maximum ne dépasse pas quinze centimètres; j'en ai vu de ce genre entre la baie d'Ambavatoby et le village d'Ampasindava. Ce combustible n'est pas de la houille, mais du lignite et ses gisements ne semblent pas avoir d'intérêt économique. Il se rencontre en petits lits dans d'autres points de la même région entre Ambinanimandrotra et Antsahafaly, au Nord du Maevarano sur la région de Maromandia et aussi dans la vallée de l'Ifasy.

Si les recherches de Villiaume, qui ont mis en évidence la présence de quelques suintements de bitume dans le sondage d'Ankaramy, n'ont pas eu de suites heureuses au point de vue industriel, elles ont, par contre, eu d'importantes conséquences scientifiques. C'est grâce à elles, en effet, qu'a pu être établi l'âge liasique de ces formations schisto-gréseuses constituant essentiellement la presqu'île d'Ampasimena, c'est grâce à elles surtout que j'ai eu les premières collections de roches qui m'ont servi à définir et à décrire cette remarquable province pétrographique d'Ampasindava, l'un des traits les plus intéressants de la constitution lithologique de la Grande Ile.

De semblables lignites se rencontrent plus au Sud dans les mêmes conditions géologiques, mais à des niveaux plus ou moins élevés de la série gréseuse Trias-Lias, sur les pentes de l'Ankara, du Beronono et de l'Ikavo, notamment à Bejabora près d'Ankadibe. A Bekinana et à Ampoza sur le Ranobe (dans schistes inférieurs aux grès grossiers et par suite aux marnes triasiques), le lignite appartient à la variété piciforme. A citer encore à ce sujet le Nord des sources de la Kadosy et le Nord de Betongolo :

Bathonien. — Des lignites pyriteux se trouvent dans le bathonien d'Ambalanjanakomby, sur la rive gauche du Kamoro.

Callovien. — M. Perrier de la Bathie m'a signalé du lignite dans les marnes et les grès de l'Est du village de Tsiletsa, à 2 kilomètres Est de Miharo (rive gauche du Fiherenana). J'ai vu un échantillon provenant de ce gisement ; c'est un véritable *jayet.*

Crétacé. — Quelques gisements de lignite très pyriteux se trouvent dans les sables fins du Crétacé inférieur au Nord d'Ankirihitra, près de la base du mont Tsitondroina et aussi sur les flancs du ressaut de l'Infra-crétacé à Ambatomasina, sur le versant gauche de la vallée de l'Iabohazo.

Pléistocène. — Dans la région de Benenitra, les grès triasiques sont recouverts par des lits de lignite servant de base à une quarantaine de mètres d'argiles grisâtres ; ce lignite, découvert par M. Perrier de la Bathie, se délite à l'air, en mettant en liberté des fibres brunes provenant de Fougères, ainsi que des débris de rhizomes de *Phragmites* qui paraissent identiques aux espèces vivant actuel-

lement dans l'île (Fritel, 188 *ter*). Cette formation, pleistocène ou plus récente, ne doit pas être confondue avec celle qui, non loin de là, fournit la houille.

Alluvions modernes. — Dans la plaine de Marovoay, au milieu des alluvions modernes de la Betsiboka, se rencontre un lignite en voie de formation, constitué essentiellement par des troncs, des branches et des racines d'*Avicennia officinalis,* petit arbre fort commun de la Mangrove. M. Perrier de la Bathie y a recueilli une série d'échantillons présentant toutes les étapes intermédiaires entre les tissus vivants et le lignite piciforme.

C'est probablement aussi à une formation récente qu'il faut rapporter quelques gisements ligniteux se trouvant dans les alluvions des hauts plateaux : Madera à l'Ouest de Tananarive; région de Ramainandro; Ankeramadinika; Sud d'Ankadivoribe et près d'Ambatomainty dans la région d'Anjozorobe ; vallées du Mangoro, de la Mananara, etc.

Il faut citer surtout un gisement voisin du gîte aurifère d'Andranofito, à environ 1 800 mètres du village d'Antanifotsy, dans la vallée de l'Onive. Une tentative d'exploitation a été faite sur ce gisement [Merle (247)]. M. Lasnier m'a communiqué l'analyse suivante qui a été faite à Tananarive sur ce lignite : carbone 56,9 ; matières volatiles 30,7; cendres 4,3; humidité 8,1 ; pouvoir calorifique 4 800 calories.

C. — *Tourbe.*

Les tourbes, brunes ou noires, sont spongieuses et légères; elles résultent de la fermentation sur place de végétaux plus ou moins submergés; c'est un produit qui se forme encore actuellement.

La transformation de la cellulose s'y observe à des étapes variées, les tissus végétaux inattaqués forment une trame que remplissent les produits de la fermentation; ceux-ci n'ont plus de structure organisée; ils sont d'un brun foncé et constitués par des produits humiques et ulmiques, à réaction acide, qui colorent en brun les eaux circulant dans les tourbières. La *dopplérite,* brune et élastique, à l'état humide (densité 1,089), noire et cassante à éclat brillant (densité 1,466 ; dureté 2 à 2,5 lorsqu'elle a été desséchée à l'air), insoluble dans l'alcool et l'éther est un type particulièrement pur de ces produits de transformation.

La composition chimique des tourbes est très variable. La teneur en produits volatils est supérieure à celle des lignites. La composition centésimale varie dans les limites suivantes : carbone 51 à 67; hydrogène 10 à 5; oxygène 30 à 18; azote 3 à 2. Les tourbes brûlent facilement, mais lentement, en dégageant une fumée à odeur caractéristique et en laissant un charbon qui a la

forme du fragment expérimenté, mais est contracté d'environ les deux tiers. Par distillation, elles donnent des gaz combustibles, des huiles, de l'acide acétique et de l'eau ammoniacale.

Gisements.

Des tourbières abondent dans toutes les régions de l'île. Elles ne manquent absolument que sur les terrains calcaires et sur les schistes cristallins de la région occidentale. D'après les renseignements que m'a fournis M. Perrier de la Bathie, les végétaux qui ont le plus contribué à leur formation sont des *Sphagnum*, des *Cyperus*, des *Fougères* et des *Graminées* ou des végétaux plus puissants : *Raphia*, *Pandanus* et *Tiphonodorum*.

Dans le Massif cristallin, la tourbe existe dans presque toutes les dépressions, surtout au-dessus de 1 500 mètres d'altitude. Les tourbières y sont presque toujours recouvertes d'éluvions ou d'alluvions, ce qui prouve que leur formation ne se continue plus de nos jours. Les rares tourbières supportant encore leur végétation primitive ne s'observent plus que dans les régions encore boisées qui, on le sait, sont fort clairsemées sur les Hauts Plateaux.

Parmi les tourbières fossiles, il faut signaler celles, épaisses de plusieurs mètres, qui sont intercalées dans les cinérites trachytiques ou entre les coulées basaltiques plus récentes[1] du Famoizankova et de Sambaina, au Nord d'Antsirabe ; elles renferment des nodules de pyrite et de vivianite ; c'est ici l'occasion de rappeler les lits de sable tourbeux de Vinaninkarena dans lesquels se rencontrent les imprégnations d'autunite (uranocircite) décrites page 361 du tome I.

Dans la région d'Ampangabe près Miandrarivo et d'Ambohimasina, à l'Ouest de Betafo, des suintements bitumineux ont été rencontrés en relation avec des tourbières.

Dans l'Est, les tourbières, rares dans la forêt, abondent au contraire sur le littoral, au voisinage des lagunes. Dans celles-ci la tourbe se forme de deux façons différentes :

1° Suivant le mode ordinaire, c'est-à-dire par transformation sur place des parties mortes de végétaux ;

2° Par alluvionnement ou accumulation au fond des lagunes de matières humiques très ténues, provenant de la décomposition de végétaux qui croissent

1. On y trouve des empreintes de feuilles de *Cypéracées* et de *Nephrodium unitum* ; ces tourbes n'ont fourni aucun fossile intéressant ; elles sont antérieures aux coulées de Betafo et par suite aux dépôts à *Æpyornis*.

à la surface ou sur le bord de l'eau. J'ai étudié deux échantillons de ce dernier type qui m'ont été communiqués par M. Perrier de la Bathie. L'un ayant une certaine cohésion et provenant de l'embouchure du Matitanana a la composition suivante : 15,75 pour 100 de carbone fixe; 46,25 de produits volatils; 38 pour 100 de cendres; l'autre est un sable tourbeux lagunaire du Mananjary; c'est une matière meuble, couleur havane, constituée par : 83,75 pour 100 de sable; 3,15 de carbone fixe et 13,10 de produits volatils.

Dans la région occidentale de l'île, les tourbières se rencontrent surtout dans les dépressions des terrains arénacés du Crétacé. — Il faut signaler en outre dans le delta des grands fleuves (notamment dans celui de la Betsiboka et de l'Ikopa) de la tourbe formée par alluvionnement.

A Nosy Be des tourbières existent aussi sur les produits de projection basaltiques (Tsiazompaniry).

Utilisation. — Il ne saurait être question de faire d'exploitation industrielle de ces tourbières, mais depuis longtemps sur les Hauts Plateaux où le bois est rare, les Malgaches connaissent la tourbe (*fompotra*); ils s'en servent quelquefois pour la cuisson des aliments et le chauffage : elle est surtout utilisée pour la cuisson des briques.

Sur les côtes, les tourbières sont complètement délaissées.

CHAPITRE IX

SOURCES MINÉRALES

I. — ABONDANCE DES SOURCES MINÉRALES.

Le sol de Madagascar est très riche en *sources minérales,* dont la plus grande partie sont des *sources thermales,* à température plus ou moins élevée. Leur existence est révélée déjà par la toponymie ; nombreux en effet sont les *Andranomafana* (où il y a de l'eau chaude), les *Ranomafana* et aussi les *Andranomandevy* (où il y a de l'eau qui bout).

La plupart de ces sources sont bicarbonatées et en relation très évidente avec le volcanisme dont elles constituent une manifestation posthume. Il en est aussi de sulfureuses et il en existe une sulfatée sodique et magnésienne.

Jusqu'ici l'étude de ces sources n'a pas été faite, sauf en ce qui concerne celles d'Antsirabe. En 1899, l'administration de la Colonie a fait un relevé qui comprend les sources qui étaient alors utilisées par les Malgaches à l'aide d'installations des plus sommaires ; il a été publié dans le *Guide de l'immigrant* (tome I, p. 179) et a été reproduit, à peu de choses près, en 1901 par Kermorgant dans son travail sur les sources minérales des Colonies [275]. Les observations de M. Perrier de la Bathie [206, 276 *bis*] et de M. Lemoine [199] permettent de complèter cette liste. Je la donne ci-contre avec quelques remarques extraites des notes dont l'indication est fournie ci-dessus. C'est une simple énumération[1] à laquelle je n'ai rien de personnel à ajouter.

Antsirabe (voir page 201).

1. Aucune des analyses citées ci-contre ne pouvant être considérée comme définitive, il m'a paru inutile de les recalculer pour les présenter sous une forme identique : je les ai reproduites telles qu'elles ont été données par leurs auteurs.

Betafo. Température + 52 à 55° C. Cette source sourd des basaltes et ne laisse aucun dépôt, mais à 50 mètres plus loin, se trouve un ancien griffon incrusté par un travertin compact renfermant des croûtes fibrobacillaires de calcite.

Kermorgant a donné [275] l'analyse suivante faite à l'Académie de médecine :

Chlorure de sodium.	0,030
Sulfate —	0,189
Carbonate de calcium.	0,038
— magnésium.	0,005
Silice.	0,026
Résidu par litre.	0,288
Acide carbonique	0,066

Ramainandro : à 20 minutes du village [analyse *a* par M. Pignet (*in* Kermorgant)] ; source d'Antsiravazo [analyse *b* par M. Boissière (*in* Kermorgant)], et à

	a	*b*
Chlorure de calcium.	0,012907	»
— magnésium.	0,042251	»
— potassium.	0,07893	»
— sodium.	0,185507	0,6591
Sulfate de sodium.	0,297	0,6049
— calcium.	»	0,0097
— magnésium.	»	0,0765
Bi-carbonate de calcium.	0,3602834	0,5901
— magnésium. . . .	0,10658	0,1999
— sodium.	3,074561	»
— potassium. . . .	»	0,2769
— fer.	»	0,0059
— manganèse. . . .	»	0,0162
Oxyde ferrique.	0,003	»
Phosphate de sodium.	»	0,0047
Silice.	0,0726	0,1245
Alumine.	»	0,0018
	4,2336194	2,5702
Acide carbonique libre.	1,0377	0,7702

une heure et demie au Sud-Est d'Antsiravazo; plusieurs sources près de Mahatsinjo. Ambalavato à l'Ouest de Soavinandriana.

Ranomafana, à 4 heures au Nord de Masondrary (Fisakana) + 39°,5 C. (région de Tsiafahy), saveur légèrement sulfureuse.

Ranomafana, entre Vohiposa et Ifanadiana, sur la route de Mananjary à Fianarantsoa (+ 45° C.). Eau sulfureuse utilisée par les indigènes pour toutes les maladies de peau et les affections de la gorge.

Vohidravina, sur la rive droite de la Matsiatra et *Ikirano*, près de Fanjakana, (+ 30° C.).

Ranomafana, aux sources de la Sandramanongy, à l'Ouest-Nord-Ouest de Vatomandry. Eau sulfureuse ; *Ambodiavola*, sur rive droite de la Mofia, affluent du Sakanila.

Ranomafana, dans la province d'Andovoranto, sur rive droite de l'Iaroka (région de Mahatsara). Eau sulfureuse; *Sahangavo*, 25 kilomètres au Nord-Ouest d'Andovoranto.

Besakay, province de Tamatave. Eau sulfureuse; *Ranomafana*, près Ambodirofia, sur le Ranofotsy.

Maintimbato à 25 kilomètres Nord de Maroantsetra, source très gazeuse et très chaude.

Antaimbalala (province de Maroantsetra), dans la haute vallée de l'Antaimbalala ; île *Marosy*.

A 2 heures de *Betavilo*, sur la rivière d'Antalaha, province de Vohémar ; à 1 heure à l'Est d'*Andraronga*, affluent de droite du Bemarivo. Eau sulfureuse (+ 60° C.), à fort débit.

Une heure Est de *Soavimanjaka* ; près du Jabo, Sud du massif d'*Ankadivato*. Eau sulfureuse.

Maintindrano (province d'Analalava). Eau sulfureuse.

A ces sources, il faut ajouter celles qui ont été signalées par M. P. Lemoine [199], dans le Massif d'Ambre près du camp de Sakaramy au fond de la vallée (+ 29° C.) (sourd du basalte, et est entourée par un tuf calcaire à son émergence), vallée du Rodo près Boriravina (+ 30°) (sort du Jurassique).

Herland a indiqué autrefois [126] à Nosy Be des sources minérales à Djabala, à l'Ouest d'Helville ; source carbonique et sulfhydrique ; t. = + 44° C., sourdant près de la mer. Dans les gorges d'Androadroatra, affluent de droite du Djabala, une eau renfermant $0^{gr},75$ par litre de $CaCO^3$ dépose de curieuses stalactites calcaires.

Dans la région ancienne, mais non loin des formations sédimentaires, il faut signaler les sources suivantes : Andranomafana, sur l'Ambazoana, affluent de la Loky, près Mangily (+ 58°,5 à 59,5), puis plusieurs sources dans la vallée d'Andavakoera : Ranomafana (+ 60° à 62) ; à l'émergence petit cône de calcaire concrétionné) ; Betsieka.

Enfin toute une série de sources signalées par M. Perrier de la Bathie : sur la Mananjeby en amont de l'embouchure de l'Ankoby et une autre dans le lit de Mananjeby ; sur la Belomotra, affluent de droite Nord de la Mananjeby (t. = + 40° C.) : sur la rive droite du Sambirano ; Andranomafana de Beangona et Antorotoro (t. = + 36° C.) (dépôt de calcite); Andranomandevy de Migiko, sur la rive

gauche du Sambirano ; Andranomafana, près du ruisseau d'Andranomaniva, affluent de l'Ankazobe (+ 60° C., dépôt de calcite); Andranomafana de Ramena ; Andranomandevy sur le Sambirano, dans un marais.

Dans les gorges d'Andranomandevy près de Bejofo, sur un affluent de l'Andranomalaza ; ces sources (+ 65° C.) sourdent du granite, près d'un basalte.

M. Lemoine a publié les analyses suivantes faites *a* à *e* dans le laboratoire de chimie de l'École polytechnique et *f* dans celui de la Société des agriculteurs de France.

a et *b*. Andranomafana (deux sources distinctes) ; *c*. Ankatoko (Andavakoera) ; *d*. Andranomandevy (Ouest d'Ambakirano) ; *e*. Ankemadoza ; *f*. Andranomafana de Ramena.

	a	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*
Bicarbonate de sodium. . .	0,19	0,12	0,49	1,27	0,46	1,58
— potassium. .	»	»	0,03	0,08	0,03	0,23
Carbonate de calcium. . .	0,11	0,07	0,14	0,05	0,09	0,04
— magnésium. .	0,004	0,01	0,02	0,01	0,03	0,02
— fer.	»	»	»	»	0,09	»
Acide sulfurique.	0,21	0,35	0,54	0,03	0,20	0,05
Chlore.	0,01	0,02	0,21	0,07	0,07	0,07
Alumine et sesquioxyde de fer.	»	0,006	»	0,005	»	»
Silice.	0,02	0,08	0,14	0,10	0,07	0,10
Résidu sec.	0,73	0,90	1,79	1,48	1,02	
Nitrate.	»	not.	not.	not.	not.	

Andranomarary, à la base du Bongolava, au Nord-Ouest de Janjina.

Enfin, dans l'Extrême Sud-Ouest, M. Perrier de la Bathie a indiqué une source chaude dans le Crétacé inférieur au voisinage de dykes de basalte à Ranomay.

Geay a signalé [193] à Ranomafana à 2 kilomètres de Beza (Est de Tongobory) sur la rive droite de l'Onilahy une source thermale (+ 50° C.) très gazeuse, à odeur sulfureuse : son griffon se trouve dans des sables.

II. — ETUDE DE QUELQUES SOURCES THERMALES ET DE LEURS PRODUITS.

Il me reste à exposer quelques observations concernant les sources d'Antsirabe et leurs produits minéraux, ainsi que ceux de diverses autres sources.

A. — *Antsirabe.*

Le nom d'Antsirabe (où il y a beaucoup de sel) est, à lui seul, caractéristique. Ses sources étaient connues des Malgaches ; elles se trouvent dans une région marécageuse, à la sortie de la ville, sur la route de Betafo. Il en existe une trentaine, toutes à faible débit, qui peuvent être divisées en deux groupes.

Dans celui du Nord (rivière d'Antsiravazo), l'eau est très chaude, atteignant + 42° C. ; dans celui du Sud, la température est moins élevée (30 à 36°).

A l'émergence des premières, les Malgaches avaient depuis longtemps construit une vingtaine de misérables cabanes dans lesquelles étaient installées des baignoires rudimentaires. La source principale porte le nom de *Bains de la Reine*.

Lorsque j'ai visité cette localité en 1911, l'Administration venait de faire construire pour l'usage des fonctionnaires et des colons une baignoire, à peine plus confortable. Depuis lors, des travaux importants ont été effectués et un établissement thermal a été construit aux frais de la Colonie.

A tous égards, il y a lieu de considérer successivement la source la plus chaude puis la source qui l'est moins.

La première, employée pour les bains, avait au moment où je l'ai observée une température de + 42° C. avec de petites variations suivant les points d'émergence. M. Ferraud a publié l'analyse suivante [273].

	grammes.
Résidu par litre à 180°	5,000
Acide carbonique total	3,1957
Bicarbonate de sodium	0,7666
Bicarbonate de potassium	0,0387
— calcium } — magnésium } — fer }	4,30
Sulfate de sodium	0,0552
Chlorure de sodium	0,0821
Silice	0,0371
Matières organiques	quantité notable.
Température	41°3 C.

Ces eaux sont donc bicarbonatées calciques.

La température (37° à 42° C.) et le poids du résidu par litre varient avec la source et cela est certainement dû à un mélange d'eau superficielle.

Les sources moins chaudes (30 à 36° C.) sont employées pour la boisson ; ce sont des eaux bicarbonatées sodiques que les Malgaches appellent *rano Visy* (Eau de Vichy), les analogies qu'elles présentent avec celles de notre grande station thermale française sont frappantes.

Il n'est pas douteux qu'Antsirabe soit destiné à prendre une grande importance pour la colonisation.

Les deux analyses suivantes ont été faites autrefois : *a.* par M. Ferraud [273] ; *b.* par M. Waage [279].

	a	*b*
Résidu fixe à 180°.	4,54	»
Acide carbonique total.	3,2426	»
— libre.	0,4799	»
Bicarbonate de sodium.	4,0747	4,6668
— potassium.	0,09948	»
— calcium.	0,5140	0,0314 [1]
— magnésium.	0,41709	»
— fer.	»	0,0028 [1]
Chlorure de sodium.	0,87686	0,2269
— potassium.	»	0,3165
— magnésium.	»	0,2827
Sulfate de sodium.	0,2989	»
— calcium.	»	0,2943
Sesquioxyde de fer. / — alumine.	0,00335	»
Silice.	0,1451	0,1304
Matière organique.	tr.	»
	6,42948	6,0018
Température.	36°8 C.	

Dans ce groupe aussi la température et la minéralisation varient et pour les causes indiquées plus haut.

Dépôts des sources. — Ces eaux déposent des concrétions d'opale qui, peu à peu, obturent les griffons et déterminent leur déplacement. De même dans la prairie marécageuse (*ranovisy*), au milieu de laquelle sourd la source d'eau employée pour la boisson, s'observe non seulement une crête de travertin constituée par de la calcite concrétionnée mélangée d'opale, mais encore une croûte d'opale d'un blanc grisâtre, à surface concrétionnée, que l'on met en évidence en enlevant la couche herbeuse superficielle. Cette opale laisse voir dans sa cassure des débris de végétaux en apparence silicifiés. J'ai montré [60] comment, en attaquant la roche par l'acide fluorhydrique, on chasse la silice et on fait apparaître les végétaux intacts qui sont, non pas épigénisés, mais seulement embaumés dans l'opale.

1. Carbonate et non bicarbonate.

L'existence de la calcite dans le rocher qui rappelle celui des Célestins à Vichy a fait croire à la possibilité d'exploiter cette roche pour la fabrication de la chaux et, en 1911, l'on voyait encore dans la prairie des tas d'*opale*, qui avaient été extraits dans ce but! Une étude sommaire de la question, au point de vue minéralogique, eût fait éviter les déboires de la construction d'un four à chaux, qui naturellement reste inutilisé.

Les alentours marécageux de la source froide d'Antsirabe sont couverts les jours de sécheresse d'efflorescences salines blanches, à saveur alcaline douceâtre; voici la composition d'un échantillon non séché que j'ai recueilli moi-même.

$NaCO^3$	42,00
$CaCO^3$	4,25
Na^2SO^4	6,25
KCl	2,15
H^2O	44,10
Opale	0,72
	99,47

Au point de vue minéralogique, le carbonate de soude existe en partie à l'état de natron et en partie à l'état de thermonatrite, le sulfate de sodium à l'état de mirabilite ; la chaux a été interprétée dans l'analyse sous forme de $CaCO^3$, mais en réalité, une partie de cet oxyde se trouve à l'état de gypse. On a vu page 193 du tome I l'influence de ces sels sur la composition des cendres des végétaux, poussant dans la prairie marécageuse d'Antsirabe, végétaux qui étaient utilisés autrefois pour la fabrication du sel de plantes (*sira vondrona*)[1] ; à l'inverse de ce qui a lieu pour le sel de plantes des autres parties de l'île, celui d'Antsirabe renferme plus de chlorure de sodium que de chlorure de potassium.

Tout ce qui vient d'être exposé représente l'état de la question au moment où j'ai visité Madagascar; depuis lors, des travaux de captage et d'aménagement ont été entrepris par l'administration de la Colonie sous la direction de M. Carle et de M. Perrier de la Bathie. Ce dernier, qui a publié le résultat de ses observations [276 *bis*], m'a fourni, en outre, de nombreux échantillons et des renseignements qui me permettent de préciser divers points de vue.

Les sondages ont mis en évidence que les sources sortent du gneiss par des fissures orientées Est-Ouest, puis traversent, pour arriver au jour, 28 mètres de sédiments dont la constitution a été indiquée page 74 du tome I. C'est une alternance de conglomérats à fragments de roches volcaniques (trachytes, andésites, rhyolites, ponces), avec, au sommet surtout, des débris granitiques et gneissiques et des lits bien stratifiés d'éléments de plus petit calibre, souvent

1. *Vondrona* plante (*Typha augustifolia* L).

ponceux ; ces dépôts, d'origine fluviatile ou torrentielle, sont surmontés par les tourbes et les boues à ossements d'*Æpyornis* et d'*Hippopotames*.

Le trajet de l'eau minérale ascendante à travers ces dépôts détritiques est jalonné par une zone dans laquelle ceux-ci sont cimentés par de la calcite et transformés en un calcaire compact (travertin) dont les fentes et les cavités sont remplies par de l'aragonite fibreuse. Il s'est produit ainsi, dans les alluvions, des sortes de colonnes verticales calcifiées, d'où partent des lentilles calcaires interstratifiées dans les cinérites : il en existe notamment une à dix ou douze mètres au-dessus de la base.

La production de ces concrétions calcaires a fréquemment obturé les griffons qui ont dû alors chercher une autre voie et l'on s'explique ainsi l'irrégularité des chemins souterrains mis en évidence par les travaux.

Un de ces travertins rencontré dans le sondage n° 4, à 9 mètres de profondeur, est curieux, en ce que la masse de la roche est formée par de grandes plages, un un peu palmées, de calcite, englobant poecilitiquement un grand nombre de grains de feldspaths et de biotite intacts, ainsi que de quartz ; on y trouve en outre des fragments de ponce de quelques centimètres cubes dont les cavités, tantôt allongées et tantôt globuleuses, sont remplies par de petits grains de calcite dont la variété d'orientation contraste avec l'orientation unique des grandes plages de la calcite poecilitique du reste de la roche.

Ces sondages ont également montré l'existence dans ces calcaires de rognons de marcasite et de concrétions d'opale, rappelant celles de la surface, avec les végétaux imprégnés en moins.

L'eau du sondage avait une température de 52° C., c'est-à-dire une température supérieure de 10° à celle de l'émergence naturelle [1].

Elle a jailli avec violence au début des sondages ; elle laisse déposer aux griffons de la calcite qui forme autour des brins de paille, des herbes et de tous les objets solides du voisinage, des concrétions aux formes curieuses, les unes assez dures à face lisse (Tome I. Pl. 11, fig. 2, grandeur naturelle, stalactites formées en 15 jours, à + 52°,2 C. près de l'orifice de sortie), les autres, plus cristallines, à texture grumeleuse (Pl. 11, fig. 3, stalactites formées à 50 mètres de l'orifice de sortie dans les chutes d'eau, à + 40° C.). Il serait certainement possible, à l'aide du dispositif employé aux sources incrustantes de Sainte-Alyre, de Saint-

1. M. Salvat a fait une première étude [276] de la radioactivité de l'eau qu'il juge intéressante. Le spécialiste que la Colonie doit charger de l'étude complète de la station hydrologique apportera certainement à ce sujet des observations importantes. Pour les interpréter, il ne faudra pas oublier que les pegmatites de cette région sont riches en minéraux radioactifs dont la décomposition a fourni le gisement secondaire de Vinaninkarena.

Nectaire et du Mont-Dore, d'obtenir des objets moulés par de la calcite comme ceux qui ont tant de vogue dans les stations thermales du Puy-de-Dôme.

Une observation intéressante a pu être faite dans l'eau s'écoulant à 50 mètres du sondage et possédant encore une température de 52° C.

Une grande quantité de bulles d'acide carbonique, de volume variable, se dégageaient de l'eau et beaucoup d'entre elles restaient parfois collées au sol avant de s'élever à la surface ; elles se couvraient alors d'une mince pellicule calcaire, hérissée d'aspérités cristallines constituant des sortes de petits ballons qui venaient flotter à la surface, puis s'échouaient sur les bords où ils se brisaient pour la plupart; leurs débris se mélangeant aux fragments de bois, aux insectes tombés dans l'eau qui, eux aussi, se recouvraient rapidement d'une couche calcaire. La figure 1 de la planche 11 (Tome I) représente quelques-unes de ces frêles formations et en particulier une enveloppe de bulle qui s'était fixée sur la tête d'un insecte en voie d'enrobement. Je n'ai vu nulle part décrites des particularités de ce genre. Le procédé Meigen permet de constater que le carbonate de calcium ainsi formé est de l'aragonite et non pas de la calcite, comme dans les stalactites décrites plus haut.

Enfin, il me reste à signaler une observation intéressante pour la botanique. M. Perrier de la Bathie m'a communiqué une poussière calcaire blanche qui constitue des sortes de petits cônes à cratère mesurant 4 à 5 centimètres de diamètre sur autant de hauteur autour des orifices, d'où se dégagent des gaz au voisinage du sondage, à une température oscillant entre + 25 et 30° C. Ces dépôts se produisent sous 3 à 5 centimètres d'eau au plus. L'examen microscopique m'a montré que cette calcite est formée par de petits rhomboèdres enchevêtrés, et en outre qu'elle est extrêmement riche en diatomées. Je les ai soumises à un spécialiste, M. Auguste Amossé, qui a décrit récemment[1] les très nombreuses espèces qu'il y a rencontrées. Les formes les plus communes sont *Campylodiscus, Clypeus*. Ehr., *Surirella ovalis* Breb.; *Nitzschia lenidensis*, Sm. et surtout *Anomoneis sphærosphora*, var. *rostrata*. Les Anomoneis sont fréquentes dans les eaux saumâtres des lacs salés d'Egypte.

B. — *Antsiravory*.

Je dois à M. Perrier de la Bathie la connaissance d'une petite source bicarbonatée et froide (+ 27° C., la température de l'air étant + 30°) située à Antsiravory, à

1. *Bulletin du Muséum*, 1921, p. 249 et 320.

4 kilomètres au Sud d'Antsirabe. Les griffons, en partie obturés par un dépôt d'opale et d'aragonite, se trouvent dans des gneiss traversés par des filons de pegmatite et d'aplite.

L'examen à l'œil nu et mieux encore l'étude microscopique font voir que les cassures d'où sourd l'eau ont été le siège d'énergiques phénomènes de friction qui ont disloqué les minéraux et développé la structure cataclastique réalisée par des débris anguleux de quartz, de feldspath (microcline), de biotite cimentés par de l'opale récente. Celle-ci est concrétionnée, incolore ou colorée en jaune par de la limonite. On peut voir les grands cristaux de microcline de la pegmatite brisés en de nombreux fragments, peu déviés de leur position originelle, et cimentés par de l'opale.

Il existe des veinules de quelques centimètres d'épaisseur, originellement constituées par l'opale dans laquelle sont noyés les débris de la roche dont la biotite seule est distincte à l'œil nu. Il est facile de constater que les feldspaths sont fendillés, mais absolument intacts; la biotite, jaune rougeâtre ou verdâtre, forme des agrégats de lames rappelant la forme d'un accordéon entr'ouvert, conséquence d'un accroissement de volume dû à un commencement d'hydratation ; cette structure rappelle celle de la vermiculite chauffée.

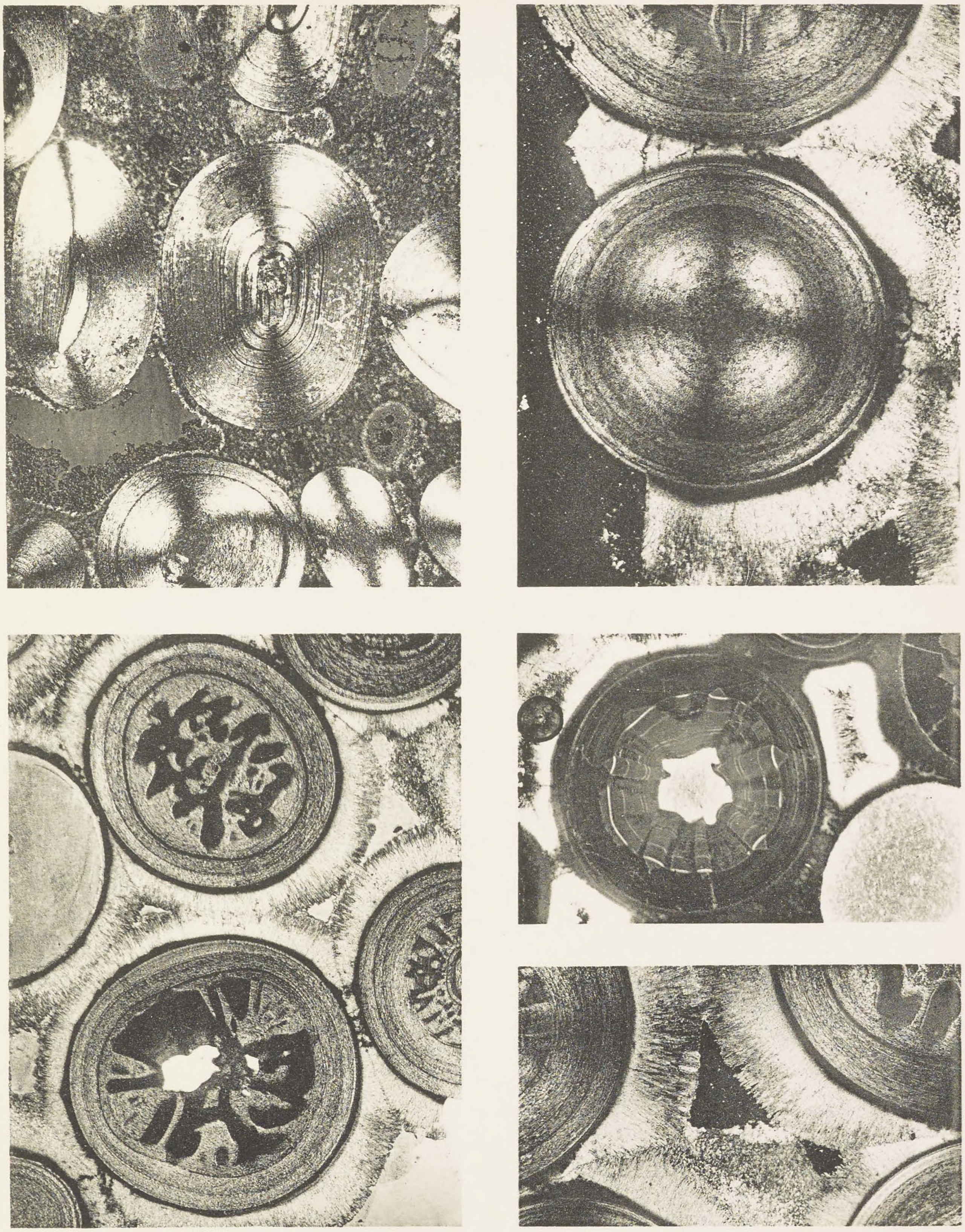
Certains filons d'opale sont, eux aussi, traversés par de fines veinules parallèles ou obliques d'aragonite aciculaire, s'isolant parfois en jolis cristaux dans les fentes ; ils sont malheureusement trop petits pour pouvoir être mesurés. La production de l'aragonite est nettement postérieure à celle de l'opale.

Enfin, il existe des veines uniquement constituées par de l'aragonite grise, en rognons fibreux, dont les individus constituants ont jusqu'à 3 ou 4 centimètres de longueur. Cette aragonite, de même que l'opale, englobe des débris de tous les minéraux de la roche ambiante.

Cette formation d'opale et d'aragonite rappelle celle qui s'observe dans le Puy-de-Dôme, à l'émergence de sources de Saint-Nectaire. Il y a lieu de faire remarquer dans les deux gisements la fraîcheur des roches au milieu desquelles se sont effectués ces dépôts. L'action des eaux minérales sur les silicates semble avoir été nulle. Les éléments déposés dans les fentes ont par conséquent été apportés de la profondeur.

C. — *Mahatsinjo.*

Les sources de Mahatsinjo se trouvent près du confluent du Mazy et du Kibokely; elles sourdent, sur la rive droite de la Mazy, de fentes du gneiss, vis-à-vis l'extrémité d'une coulée de basalte; elles ont édifié une terrasse de 15 à



Clichés Fallou. Imp. Catala frères. Paris.

Lames minces de pisolites de *ctypéite* de Mahatsinjo.

A. CHALLAMEL, ÉDITEUR

20 mètres de front, avec quelques mètres d'épaisseur, qui s'avance peu à peu dans le lit de la rivière (Planche 21, fig. 3).

Sur les deux rives et sur environ 100 mètres, s'observe un dépôt ancien constitué par de l'aragonite fibreuse ; il a de 8 à 10 mètres d'épaisseur. Cette aragonite est très compacte, elle prend bien le poli et constitue un véritable *onyx* dont les fibres ont localement jusqu'à 10 centimètres de longueur.

Non loin de la rive gauche, se trouvent d'autres dépôts de travertin de même origine qui ont été exploités pour la fabrication de la chaux dont le sol de cette région gneissique est dépourvu.

L'eau jaillit à une faible hauteur ($0^m,15$ au maximum) de quatre ouvertures n'ayant qu'une dizaine de centimètres de diamètre. Elle s'écoule dans la Mazy, en accroissant peu à peu par ses dépôts la terrasse constituée par de la calcite, d'un gris verdâtre, caverneuse et fragile, qui prend les formes concrétionnées et stalactiformes parfois élégantes ou singulières de ce genre de tufs calcaires. La température de l'eau au griffon est de $+ 29°$ C., de quelques degrés seulement supérieure à celle de la rivière voisine.

M. Pignet a donné l'analyse suivante de cette eau (*in* Kermorgant [275]) :

Chlorure de potassium	0,06113
— sodium	0,39611
— magnésium	0,23750
Sulfate de sodium	0,46600
Bicarbonate de sodium	1,29600
— magnésium	1,91348
— calcium	3,26990
— fer	0,04523
Alumine	0,01450
Silice	0,13200
Résidu par litre	7,83185

Dans le lit même de la rivière, sourdent aussi des sources, les unes chaudes, les autres froides.

Le grand intérêt minéralogique des sources de Mahatsinjo tient à la formation actuelle de ctypéite que j'ai signalée jadis [26] et dont j'ai pu, depuis lors, examiner sur place les conditions de production. On sait que ce minéral n'était connu jusqu'ici que dans les sources thermales de Carlsbad en Bohême et de Hammam-Meskoutine en Algérie.

Dans le griffon d'où l'eau jaillit faiblement, se produisent actuellement de très petits globules de ctypéite que l'on peut recueillir en grains libres au milieu d'un précipité un peu ferrugineux. Ils s'agglomèrent légèrement par contact mutuel et forment une roche s'émiettant facilement sous le choc du marteau.

Mais en creusant à la surface de la terrasse du travertin, j'ai rencontré

des îlots de grains de ctypéite solidement cimentés par de l'aragonite. Leurs dimensions varient depuis celles d'un grain de millet jusqu'à celles d'un pois. Il s'agit là du produit d'anciens griffons. J'ai rapporté au Muséum un bloc qui en a été extrait; il a été dégagé de la croûte de calcaire concrétionné qui l'englobait et montre la forme que présentait le canal amenant l'eau à la surface.

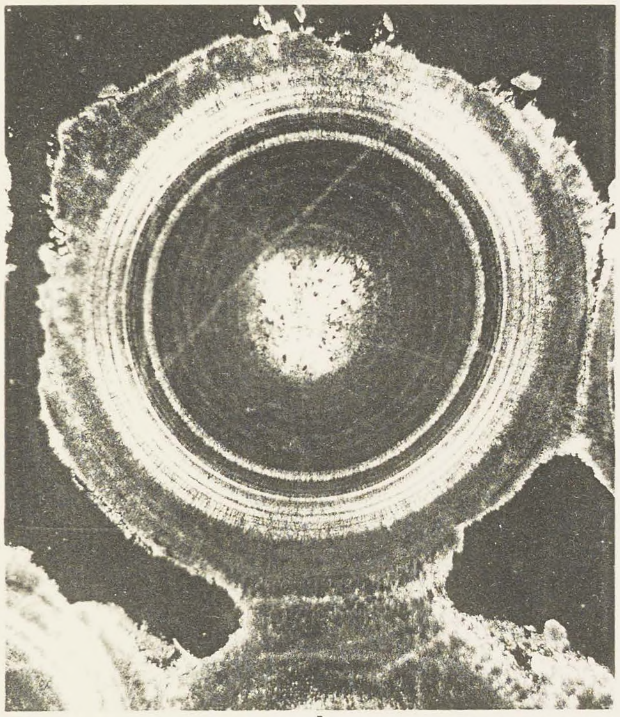
Les grains de ctypéite que l'on peut extraire en plongeant le bras dans le griffon, n'ont souvent que la grosseur d'un grain de millet ou tout au moins d'un grain d'arène granitique ; lorsqu'ils sont entièrement libres, on peut constater qu'ils sont loin d'avoir la forme relativement régulière des pisolites plus gros reproduits en grandeur naturelle par la figure 4 de la planche 31 du tome I. Il est facile de voir par leur étude microscopique que leurs irrégularités de forme tiennent à ce que celle-ci n'est autre chose que la reproduction des contours du grain de sable (quartz ou feldspath) en mouvement qui a servi d'attraction au carbonate de calcium déposé sous forme de ctypéite. La planche 22 montre des sections de semblables échantillons ; dès qu'ils s'agglomèrent, même d'une façon extrêmement lâche, de petits pointements d'aragonite se forment à la surface des grains.

Lorsque les conditions de formation de la ctypéite se poursuivent pendant longtemps, l'enveloppe calcaire grossit, l'influence de la forme du grain de sable originel diminue et, peu à peu, le grain se régularise pour prendre une forme de plus en plus sphérique. Quand la dimension est devenue suffisamment grande pour que le grain ne puisse plus être soulevé par l'eau jaillissante, il tombe au fond du griffon et bientôt il est englobé par de l'aragonite dont les fibres sont implantées perpendiculairement à sa surface (fig. 2, 3 et 5 de la planche 22).

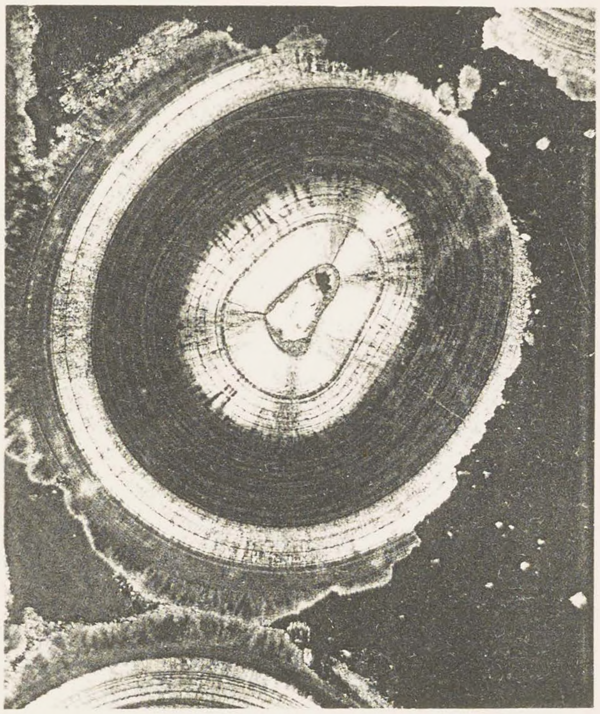
La figure 3 de la planche 22 représente la section d'un pisolite recueilli dans un griffon ne fonctionnant plus; c'est, si je puis m'exprimer ainsi, de la ctypéite morte. On voit dans sa partie centrale un dessin à forme bizarre, trouble, dans lequel la ctypéite a été remplacée par de la calcite très finement grenue. C'est une étape vers la transformation complète qui va être décrite plus loin dans un autre gisement.

J'ai fait reproduire dans cette même planche des sections de pisolites vues en lumière polarisée parallèle et illustrant les propriétés optiques décrites dans le tome I, page 288. On y voit (fig. 2) une section presque tangente à un globule, la croix noire y est continue, très estompée (en lumière convergente, on constate une croix noire plus nette d'un minéral uniaxe et optiquement positif) et des sections de pisolites passant par le centre (fig. 1).

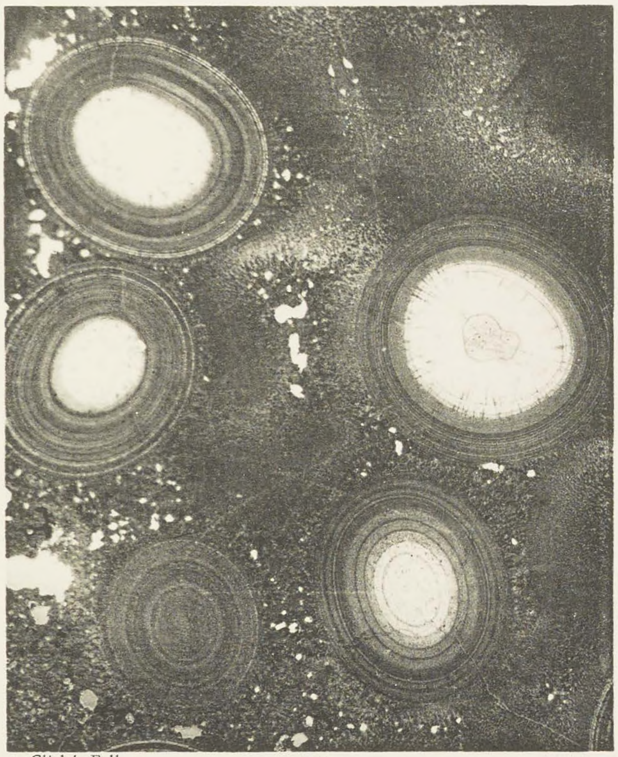
La figure 6 de la planche 11 du tome I offre un intérêt d'un autre ordre ; les pisolites, représentés en grandeur naturelle sont pressés les uns contre les autres



1



2



Clichés Fallou.

3



4

Imp. Catala frères, Paris.

Pseudomorphoses de *ctypéite;* en *calcite,* Andranomandevy (fig. 1 à 3) ; en *quartz*. Environs du Fonjay (fig. 4).

A. CHALLAMEL, ÉDITEUR

s'impressionnant mutuellement; il semble bien que l'on soit contraint de conclure que ces pisolites ont été mous au moment de leur production; ici, le ciment d'aragonite se réduit à une mince pellicule; j'ai décrit jadis cette même apparence dans la ctypéite d'Hammam-Meskoutine.

D. — *Andranomandevy près Migiko.*

Ces sources situées sur la rive gauche du Sambirano, entre Migiko et Ambahatra se trouvent au voisinage des grès liasiques et des gneiss. La température de l'eau des divers griffons varie entre + 43° et 68° C.; le dégagement d'acide carbonique y est très intense.

Les analyses suivantes ont été faites par M. Meillère, dans le laboratoire de l'Académie de médecine, sur l'eau des deux sources recueillie par M. Perrier de la Bathie [206]. Je reproduis ces analyses sous la forme que leur a donnée leur auteur.

	a	*b*
Cl.	0,3969	0,2903
CO^2.	0,9200	0,8050
SO^4.	0,1071	0,1013
SiO^2.	0,0032	0,0450
Ca.	0,2152	0,0861
Mg.	0,1338	0,0531
K.	0,0705	0,6430
Na.	0,4888	0,6600
Mn.	tr.	tr.
Li.	tr.	0,0731
$(Fe, Al)^2O^3$.	0,0300	0,035
Résidu sec par litre.	2,4700	2,266

Du carbonate de chaux forme à la surface de l'eau des croûtes qui tombent au fond lorsqu'elles ont atteint une certaine épaisseur. Les dépôts actuels, que je dois à M. Perrier de la Bathie, sont constitués par de l'aragonite à fibres soyeuses très lâches donnant naissance à des masses poreuses à surface concrétionnée.

L'obturation des griffons par les dépôts calcaires entraîne le déplacement des points d'émergence; à l'un de ces anciens griffons se trouve une roche pisolitique tout à fait identique comme caractères extérieurs à celle constituée par la ctypéite de Mahatsinjo, mais les pisolites sont actuellement constitués par de la calcite, ainsi qu'il est facile de s'en assurer par la réaction de Meigen. La figure 5 de la planche 11 du tome I représente en vraie grandeur un échantillon de ces pisolites agglomérés.

Leur examen microscopique est intéressant; on voit en effet qu'ils sont formés par des alternances de zones troubles, constituées par de la calcite, ayant la structure très finement grenue de la partie centrale des pisolites de Mahatsinjo, en voie de transformation, décrite plus haut et de zones transparentes, à structure fibreuse rayonnant du centre, et formées par de la calcite limpide. J'ai fait reproduire deux pisolites de ce genre dans la planche 23 ; dans une des figures, la section passe par le centre du sphérolite de façon à montrer les fibres suivant leur longueur ; dans l'autre, elle est tangente au sphérolite, de telle sorte que les fibres de celui-ci, coupées perpendiculairement à leur allongement, se présentent sous la forme de petits grains irréguliers.

III. — PRODUITS D'ANCIENNES SOURCES MINÉRALES COMPARABLES AUX PRÉCÉDENTES.

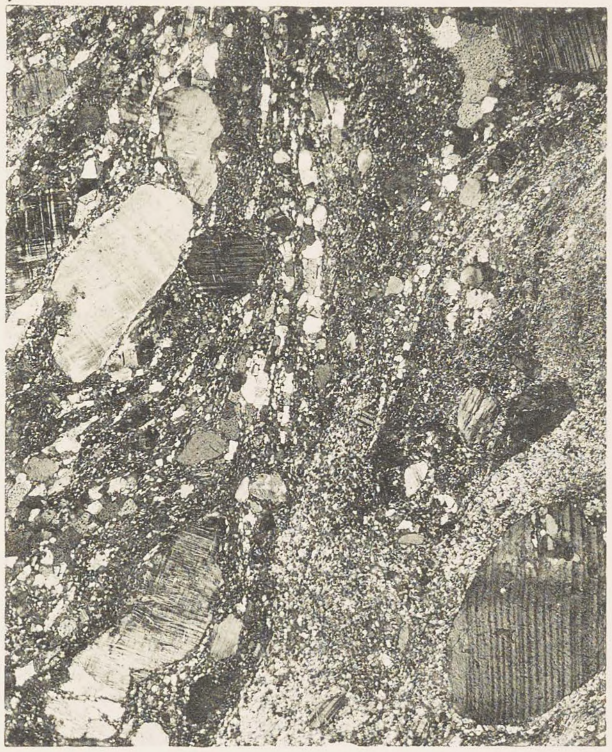
Il me reste à signaler un certain nombre de productions minérales qu'il est nécessaire de rapporter à une action thermale, mais en des points dont les sources sont actuellement taries.

Ampasambazimba. — A 4 kilomètres à l'Est de Mahatsinjo, près de Tsarazaza, sur la rive droite du Mazy, se trouve la cuvette d'Ampasambazimba entourée par des coulées basaltiques; c'est une petite plaine marécageuse mesurant de 200 à 250 mètres, dans laquelle s'observe un banc de calcaire de 30 à 40 centimètres d'épaisseur recouvert par un dépôt argilo-siliceux. Ce calcaire concrétionné renferme ou recouvre de nombreux ossements de mammifères de la faune subfossile, qui a rendu ce gisement célèbre parmi les paléontologistes, et aussi des coquilles, des fragments de bois enduits de pyrite et traversés par des veines d'aragonite; il s'agit là d'une production d'une ancienne source thermale et il existe encore sur la rive gauche de la rivière une émergence de source bicarbonatée ferrugineuse.

Antsolifara. — A Antsolifara, sur la Manandona, au contact du basalte et des gneiss très micacés (feldspaths et amphiboles transformés en nontronite, mica intact) se trouvent des dépôts siliceux englobant des végétaux et rappelant au premier abord l'aspect de l'opale des affleurements d'Antsirabe, mais la roche possède un éclat vitreux; elle est très dure et le microscope montre qu'elle est constituée par du quartz à plus ou moins gros grain; quant aux végétaux, ils sont transformés en quartz finement grenu, toute structure anatomique a disparu et



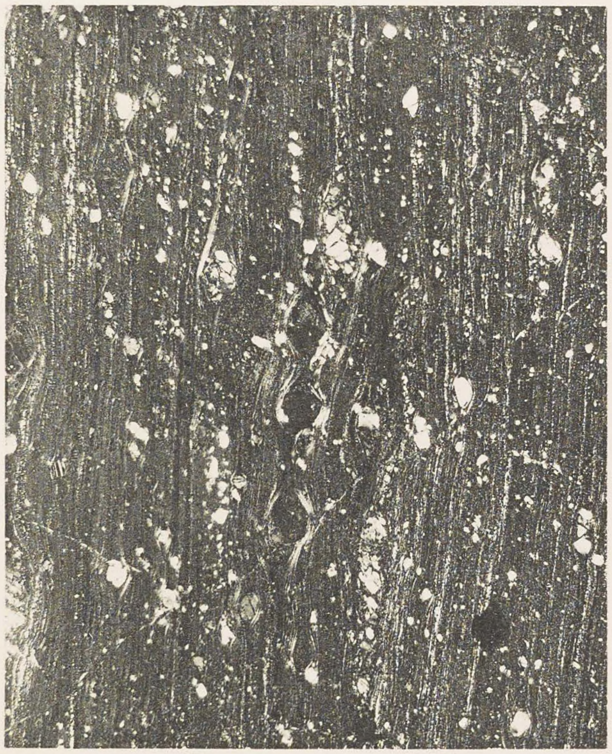
1



2



Clichés Fallou 3



4 Imp. Catala frères, Paris.

Phases successives (fig. 1 à 3) de *l'écrasement d'une pegmatite* à grands éléments, aboutissant à une *mylonite* (fig. 4) ; Marotseva.

l'acide fluorhydrique ne laisse aucun dépôt organique. Il s'agit là d'opale quartzifiée ; il existe d'ailleurs dans le même gisement de l'opale intacte et quelquefois de la hyalite mamelonnée ; enfin, il faut noter aussi des rognons irréguliers à structure extérieure concrétionnée, transformés en quartz finement grenu ou en agrégats saccharoïdes translucides, colorés en jaune citron par la nontronite. De la calcédoine mamelonnée se trouve dans les fentes du basalte voisin et dans un poudingue sédimentaire, recouvrant cette roche ; M. Perrier de la Bathie, qui m'a documenté sur ce gisement, y a recueilli des troncs d'arbres silicifiés ; les échantillons que j'ai examinés sont entièrement transformés en quartz grenu.

Massif du Fonjay. — Dans la région sédimentaire de l'Est, aux alentours du Fonjay (surtout au Nord et au Nord-Ouest) et aussi dans le lit du Ranobe, se rencontrent, à l'état épars sur le sol, des blocs d'une roche entièrement constituée par des pisolites de calcédoine cimentés par le même minéral. Ces blocs m'ont été communiqués par MM. Mouneyres et Baron et par M. Perrier de la Bathie ; ils se rencontrent aussi bien à la surface du basalte décomposé que sur celle des sédiments.

Si l'on fait abstraction de la matière siliceuse qui constitue ces pisolites, leur structure (Pl. 23, fig. 4) est si identique à celle des pisolites de ctypéite de Mahatsinjo que l'on peut se demander s'ils ne constituent pas des pseudomorphoses du même minéral, effectuées sous l'action d'eaux siliceuses ; cette hypothèse pourrait s'appuyer sur ce fait que, dans la même région, les grès triasiques sont traversés par des veinules de calcédoine de couleur grise ou noire.

IV. — ÉTUDE DE QUELQUES SOURCES FROIDES.

A. — *Source sulfatée sodique et magnésienne d'Antsirasira.*

Il existe à Antsirasira près Maevarano, à 25 kilomètres de Marovoay, une source sulfatée dont l'eau a été analysée par M. Arnaud et V. Hassenfratz [271] sous le nom d'eau de Sainte-Marie de Marovoay. Elle sourd d'argiles et se rassemble dans de petits puits ; par concentration naturelle, cette eau fournit des croûtes cristallines blanches, solubles dans l'eau froide, de blödite (voir Tome I, page 315) ; il existe aussi au voisinage des croûtes de calcite cloisonnée.

Les analyses suivantes ont été faites sur des eaux recueillies à des périodes

différentes et probablement dans des points distincts. En saison sèche *a* et *b* (août 1900); *c* (1901); *d* saison des pluies (15 février 1900) :

	a	*b*	*c*	*d*
Na^2SO^4.	21,813	65,924	16,250	16,128
$MgSO^4$.	9,390	29,160	6,648	6,723
$CaSO^4$.	1,302	1,964	1,311	1,053
NaCl.	0,523	1,668	0,420	0,505
$Na(AzO^3)$.	tr.	2,224	0,662	0,538
X.	0,269	tr.	0,263	0,263
Résidu par litre. . . .	33,296	100,940	25,554	25,210
		cm³		cm³
CO^2.	n. d.	38,2	n. d.	83,5
O.		1,5		1,4
Az.		13,0		77,06
Densité.	1,0134	1,0912	1,0233	1,0223

Ces eaux sont rendues légèrement alcalines par une petite quantité (X) de carbonates de chaux, de magnésie, dissous grâce à l'acide carbonique. L'analyse *a* est celle de l'eau la plus pure; la teneur en nitrate des autres paraît due à une contamination par les eaux superficielles. Il existe aussi une petite quantité de matière organique 67^{mg},4 pour l'une des eaux recueillie à la saison sèche, 73^{mg},1 pour celle recueillie pendant la saison des pluies.

Ces eaux ont une composition remarquable qui pourrait les faire utiliser comme eaux purgatives; elles sont intermédiaires entre l'eau de Pullna (Bohême) qui est très magnésienne et celle de Rubinat qui est surtout sodique.

B. — *Sources carbonatées calciques.*

La formation de travertins au point d'émergence des sources froides est un phénomène très général dans les régions calcaires où les eaux sont riches en bicarbonate de calcium dissous. En arrivant à l'air libre, elles déposent leur sel sous forme de calcite. Cette précipitation est activée par des organismes et particulièrement par des algues; la calcite cristallise sur toutes les matières organiques, feuilles, herbes, etc., il en résulte une roche poreuse fistuleuse et légère. Je citerai comme exemple les tufs du Tsararano au pied du mont Bararata, à Bekomankory (Montagne des Français) signalés par M. P. Lemoine.

La production de travertins n'est pas localisée dans les régions exclusivement calcaires comme dans le cas précédent.

Dans le lit de l'Ibeaka (affluent de l'Onilahy), près de Benenitra au Sud du

mont Besakoa, on pourrait confondre avec des sédiments triasiques des travertins gréseux riches en grains de quartz qui reposent horizontalement sur le gneiss. M. Perrier de la Bathie les considère comme résultant de la solidification d'alluvions récentes par des sources calcaires, abondantes dans la région qui sépare les bassins de la Linta et de l'Onilahy.

C'est peut-être à un phénomène du même genre qu'il faut rapporter la formation du ciment calcaire du conglomérat à blocs basaltiques des bords de la Sakondry.

CHAPITRE IX

STATISTIQUE

Bien qu'il n'entre pas dans le plan de cet ouvrage de fournir de nombreuses statistiques minières, il me paraît intéressant de reproduire une série des tableaux qui m'ont été communiqués par le Service des Mines et par la Chambre des Mines de Tananarive, car ils donnent une idée de l'activité des prospections et des commencements d'exploitation entrepris au cours des dernières années.

Régime minier à Madagascar.

Le régime minier appliqué actuellement (1922) à Madagascar distribue les produits du sous-sol entre deux grandes divisions : les métaux précieux et les pierres précieuses, d'une part, les divers minerais, d'autre part. Chacune de ces divisions a sa réglementation particulière.

1° *Pierres précieuses et métaux précieux.*

Permis de recherches. — Après une découverte, le prospecteur obtient du Service des Mines un permis de recherches lui donnant le droit de faire une prospection approfondie du terrain choisi, compris dans un périmètre de 2 kilomètres de rayon.

Permis d'exploitation. — S'il veut exploiter, il doit choisir, dans son périmètre, une surface rectangulaire ne dépassant pas 1 000 hectares.

Cette transformation lui confère des facilités pour la vente des produits extraits.

2° *Métaux autres que les métaux précieux et pierres précieuses.*

Permis de bornage. — Il ne diffère du permis de recherches des métaux précieux que par la forme du périmètre qui est ici rectangulaire et peut avoir une surface maximum de 2 500 hectares.

Concession. — La transformation du permis de bornage en une concession, presque toujours plus réduite de surface, à cause des taxes basées sur la surface considérée, donne des droits plus étendus comme stabilité et comme durée que pour le cas d'un bornage.

I. — PÉRIMÈTRES POUR L'OR, LES MÉTAUX PRÉCIEUX ET LES PIERRES PRÉCIEUSES EN COURS DE VALIDITÉ A LA FIN DE CHAQUE ANNÉE

	PERMIS	
	RECHERCHES	EXPLOITATION
1915	818	451
1916	715	437
1917	583	450
1918	782	344
1919	686	348
1920	1 263	328

II. — PERMIS EN COURS DE VALIDITÉ PAR PROVINCES
(Or, métaux précieux et pierres précieuses)

PROVINCES	PERMIS DE RECHERCHE — NOMBRE PAR ANNÉE				PERMIS D'EXPLOITATION — NOMBRE PAR ANNÉE			
	1918	1919	1920	1921	1918	1919	1920	1921
Ambositra	83	76	105	55	24	25	22	2
Ambilobe	10	11	8	»	31	30	32	»
Analalava	»	»	»	»	»	»	»	»
Ankazobe	59	45	76	»	3	5	5	»
Betroka	21	25	27	26	»	2	2	1
Diego-Suarez	»	»	1	10	»	»	»	»
Farafangana	32	19	24	12	3	3	2	»
Fianarantsoa	50	34	61	23	4	5	7	3
Fort-Dauphin	»	2	3	2	»	»	»	»
Itasy	28	27	39	16	5	5	5	1
Majunga	1	3	20	12	»	»	»	4
Maevatanana	165	189	338	175	129	134	127	5
Mananjary	85	71	113	109	62	53	53	5
Morondava	3	3	21	8	36	30	28	»
Moramanga	49	38	70	67	17	16	15	3
Maroantsetra	2	2	8	2	»	»	»	»
Nosy Be	»	»	2	»	»	»	»	»
Tamatave	48	41	85	105	11	12	11	»
Tananarive	16	7	63	30	1	1	1	2
Vakin'Ankaratra	77	65	138	78	7	19	10	2
Vatomandry	44	24	47	»	5	3	3	»
Vohémar	9	4	14	»	5	5	5	»
TOTAL	782	686	1 263	730	344	348	328	28

III. — CONCESSIONS EN COURS DE VALIDITÉ A LA FIN DE CHAQUE ANNÉE
(Produits autres que l'or et les pierres précieuses.)

DÉSIGNATION DES MINERAIS	ANNÉES					
	1915	1916	1917	1918	1919	1920 et 1921
Cuivre	2	2	3	3	3	3
Nickel	1	1	1	1	1	1
Fer	2	3	2	2	2	2
Urane	»	»	»	»	»	1
Graphite	17	18	19	19	19	19
Mica	»	»	1	1	1	1

IV. — BORNAGES EN COURS DE VALIDITÉ A LA FIN DE CHAQUE ANNÉE[1]

DÉSIGNATION DES MINERAIS	ANNÉES						
	1915	1916	1917	1918	1919	1920	1921
Cuivre	13	66	201	199	65	15	37
Galène	2	16	39	43	22	4	16
{ Nickel	4	4	5	11	2	5	7
{ Garniérite	»	»	»	»	1	»	
Manganèse	»	»	»	»	»	8	4
Magnétite	7	7	7	»	6	»	»
Fer, titane et pyrite de fer	26	23	54	84	82	55	152
Hématite	»	»	»	»	1	»	1
Rutile	»	»	1	1	»	»	1
Fer chromé	»	»	»	»	»	24	»
{ Molybdène	»	»	1	2	2	6	3
{ Molybdénite	»	1	1	»	»	»	
* Cinabre	»	»	20	27	5	»	»
* Vanadium	»	»	2	»	»	»	»
{ * Cassitérite	»	»	1	1	3	2	5
{ * Étain	3	3	3	1	3	3	5
Bismuthine	»	»	»	1	2	»	»
Quartz, cristal de roche	46	69	96	99	51	240	163
Quartz coloré	13	2	17	27	12	»	10
Quartz rose	»	11	11	»	»	11	»
Agate	»	»	»	7	1	4	8
Amazonite	1	3	2	2	2	12	5
{ Uranium	»	2	»	»	»	»	325
{ Urane, terres rares	164	166	201	195	180	184	
{ Minéraux radioactifs	»	»	»	7	»	»	
{ Tantale	4	4	4	1	1	1	»
Tschewkinite	»	»	1	»	»	»	»
Monazite	1	1	1	5	»	7	»
Zirconium	»	»	»	12	3	»	19
Scandium	»	»	»	»	»	1	»
Mica	32	40	55	323	114	127	875
Graphite	1 509	2 371	4 064	3 775	1 389	1 022	1 315
Corindon	142	159	189	228	137	90	153
Amiante	10	16	11	21	9	4	7
Stéatite	»	2	2	4	2	»	3
Soufre	»	1	»	1	»	1	»
Magnésite	»	»	3	14	»	»	»
Sel gemme	»	»	2	1	2	»	»
Phosphate de chaux	11	11	13	12	15	4	5
Pétrole et bitume	382	341	386	458	819	1 326	1 638
Huiles lourdes	»	»	»	»	»	3	4
Hydrocarbures	»	»	»	»	»	6	6
Combustibles minéraux	»	»	1	6	18	10	21

1. J'ai respecté dans ce tableau les rubriques sous lesquelles ont été pris ces bornages, me contentant de les classer systématiquement. L'astérisque indique les substances qui, d'après les indications données dans le corps de cet ouvrage, paraissent ne pas exister dans la Colonie.

DÉSIGNATION DES MINERAIS	ANNÉES						
	1915	1916	1917	1918	1919	1920	1921
Houille	1	1	1	»	»	»	
Charbon	175	175	187	178	80	61	126
Lignite	»	»	»	»	»	1	
Lignite et combustibles industriels	»	»	»	1	51	»	52
2e subdivision (4e catégorie)[1]	»	»	»	»	»	340	19
3e — —	»	»	»	»	»	42	»
4e — —	»	»	»	»	»	42	»
5e — —	»	»	»	»	»	14	»

1. Ces déclarations ont été faites en conformité d'un arrêté du Gouverneur Général du 18 octobre 1918 (*Journal officiel de Madagascar*, 26 octobre 1918) subdivisant de la façon suivante la 4e catégorie : *1re subdivision* : graphites ; *2e subdivision* : le mica, le cristal de roche incolore, les terres rares (y compris les minerais d'urane), l'amiante, les corindons industriels et le bismuth ; *3e subdivision* : le fer sous toutes ses combinaisons y compris les pyrites ; *4e subdivision* : le cuivre, le zinc, le plomb et les métaux connexes ; *5e subdivision* : toutes substances minérales de la 4e catégorie non comprises dans les subdivisions ci-dessus.

V. — BORNAGES EN COURS DE VALIDITÉ PAR PROVINCES

PROVINCES	NOMBRE PAR ANNÉE			
	1918	1919	1920	1921
Ambositra	370	157	139	169
Ambilobe	29	3	42	42
Moramanga	552	291	205	195
Ankazobe	68	8	36	7
Analalava	111	65	127	131
Betroka	257	103	148	675
Diego-Suarez	11	»	»	»
Farafangana	416	81	70	97
Fianarantsoa	192	82	88	129
Fort-Dauphin	305	138	164	481
Itasy	260	151	147	119
Maevatanana	80	22	15	27
Majunga	84	129	254	391
Mananjary	80	16	19	32
Maroantsetra	38	2	5	4
Morondava	350	637	703	982
Nosy Be	12	5	128	135
Tamatave	862	392	373	402
Tananarive	295	109	131	123
Tuléar	155	37	26	58
Vakin'Ankaratra	592	235	279	372
Vatomandry	527	336	427	385
Vohémar	101	41	29	28
TOTAL	5 747	3 040	3 566	4 985

QUATRIÈME PARTIE

LITHOLOGIE

OBSERVATIONS

La classification lithologique employée dans cet ouvrage est celle que, depuis quelques années, j'expose dans mon cours du Muséum ; comme elle diffère en certains points importants de celles en usage, je donnerai quelques brèves définitions qui serviront d'éclaircissement aux pages qui suivent.

Les roches éruptives sont considérées, non plus seulement au point de vue de leur composition minéralogique et de leur structure, comme dans la classification de Fouqué et de Michel-Lévy, mais il est tenu compte en outre de la quantité relative de leurs minéraux constituants et aussi de la composition chimique. Ce dernier point de vue a même été particulièrement développé dans ce livre, à l'aide d'un grand nombre d'analyses effectuées spécialement dans ce but.

Les divisions principales de la classification sont basées sur la considération des roches holocristallines grenues (*phanérites*) dont les minéraux sont facilement déterminables et qui permettent de discuter les relations existant entre la composition minéralogique et la composition chimique. Quant aux roches à grain fin, à celles qui sont semi-cristallines ou vitreuses (*aphanérites*), comme le sont la plupart des laves, l'étude minéralogique ne pouvant suffire à les classer, elles ont été rattachées aux roches grenues de même composition chimique. Je me suis surtout préoccupé de grouper ensemble les roches qui, provenant d'un même magma, et souvent des mêmes portions d'un magma, doivent leurs différences minéralogiques et structurales aux conditions différentes de leur mise en place et de leur refroidissement, même si ces différences minéralogiques et structurales paraissent les séparer ; la notion des *types hétéromorphes*, dont il sera question

plus loin, permet de faire ces rattachements, impossibles si l'on reste lié par des règles minéralogiques rigides.

Les roches sont divisées en cinq grandes *classes*[1], d'importance très inégale, basées sur la nature de leurs minéraux blancs (quartz, feldspaths, feldspathoïdes).

Les deux premières renferment les roches riches en quartz (roches quartz*iques*) ; la première classe, consacrée aux roches essentiellement constituées par du quartz, n'a guère qu'une importance théorique ; elle comprend en effet surtout des filons de quartz que leur simplicité de composition rend peu intéressants.

La troisième classe comprend les roches dont les éléments blancs essentiels sont des feldspaths, mais, avec possibilité d'existence d'une petite quantité (moins de 5 pour 100 de la somme des minéraux blancs) de quartz (roches quartz*ifères*) ou de feldspathoïdes (roches néphélin*ifères*, leucit*ifères*).

La quatrième classe est constituée par des roches dans lesquelles les feldspaths sont accompagnés d'une quantité importante de feldspathoïdes (roches néphélin*iques*, leucit*iques*).

Enfin la cinquième classe est réservée au petit grouge dont le seul élément blanc est un feldspathoïde.

Ces divisions correspondent à des propriétés chimiques de grande importance : excès de silice sur la quantité nécessaire pour que l'alumine, jointe à une quantité convenable d'oxydes, puisse former des feldspaths dans les deux premiers groupes ; saturation complète ou approchée de cette silice dans le troisième ; déficit dans les deux dernières classes[2].

L'intervention des minéraux colorés : micas, pyroxènes, amphiboles, dans la classification n'est plus qualitative, mais quantitative. Etendant la division proposée par M. Brögger des roches en leucocrates et mélanocrates, j'ai proposé, dès 1902 [131], à l'occasion des roches de la province pétrographique d'Ampasindava, de diviser chaque famille, érigée sur la considération des éléments blancs, en cinq groupes, auxquels j'attribue aujourd'hui les limites approximatives suivantes : *hololeucocrate* (moins de 5 pour 100 de minéraux colorés) ; *leucocrate* (10 à 35) ; *mésocrate* (35 à 65) ; *mélanocrate* (65 à 90) ; *holomélanocrate* (plus de 95 pour 100 des minéraux colorés). La nature de ceux-ci intervenant pour spécifier des indications qualitatives.

1. Les classes 2 à 5 figurent dans toutes les classifications minéralogiques antérieures ; l'idée de la première a été proposée par M. Iddings (*Igneous rocks*, New-York, 1913, t. II) qui, avec la plupart des auteurs, admet une sixième division (roches sans éléments blancs) que je rejette pour les raisons indiquées plus loin.

2. M. Shand (*Geol. Magaz.*, 1915, p. 340) a proposé de désigner les classes 1 et 2 sous le nom de roches sursaturées (de silice), la classe 3 (plus restreinte) sous celui de saturée, les classes 4 et 5 sous celui de non saturées, par rapport aux minéraux bivalents (roches à olivine), monovalents (roches à feldspathoïdes) ou par rapport aux deux (roches à feldspathoïdes et olivine). On verra plus loin que l'olivine n'a pas toujours cette valeur symptomatique.

Cette conception de la famille lithologique, comprise entre un type réduit aux minéraux blancs caractéristiques et un autre qui ne renferme plus que des minéraux colorés, entraîne comme conséquence la disparition, en tant que groupe indépendant, des roches dépourvues de minéraux blancs figurant dans les anciennes classifications. Entièrement distinctes à leur point de départ, leucocrate, beaucoup de familles voisines, celles des roches à andésine, labrador, anorthite, par exemple (diorites, gabbros, eucrites), deviennent de plus en plus convergentes, à mesure que la proportion des éléments colorés augmente et elles aboutissent ainsi à des termes communs (péridotites, pyroxénites, hornblendites) ; cette convergence n'est point une vue de l'esprit, elle constitue une réalité tangible, bien peu de roches holomélanocrates ayant une indépendance géologique réelle.

Dans chaque classe, des subdivisions sont faites suivant la nature et les proportions relatives des feldspaths. On en trouvera le détail dans les chapitres descriptifs qui suivent. La structure intervient ensuite pour achever de définir les *phanérites* et les *aphanérites* correspondantes.

Afin de compléter ces notions minéralogiques par des notions chimiques quantitatives, j'ai choisi, parmi les divers systèmes proposés jusqu'ici, celui qui m'a paru le plus suggestif, au point de vue qui me préoccupe et que j'ai indiqué page 217. C'est le système chimico-minéralogique de MM. Cross, Iddings, Pirsson et Washington[1], mais je n'ai pris dans celui-ci que ce qui m'est utile pour le but envisagé. Cette classification ne tenant pas compte de la composition réelle des roches doit, en effet, être considérée comme une classification des magmas et non pas des roches elles-mêmes. Laissant de côté toute la nomenclature proposée par les savants américains, je ne fais usage que des chiffres indiquant la place de la roche considérée dans les quatre divisions principales, la classe, l'ordre, le rang, le subrang. En indiquant à la suite du nom minéralogique d'une roche des paramètres magmatiques, tels que : 1. 3. 2. 4, on emploie un mode de représentation comparable à celui dont font usage les cristallographes, lorsqu'ils désignent la face d'un octaèdre régulier par le symbole (111).

Voici un court résumé explicatif de cette classification.

Elle consiste — en laissant de côté la composition minéralogique de la roche —, à partir de son analyse chimique pour calculer, suivant une marche rigoureusement déterminée, une composition minéralogique théorique, en fonction de certains *minéraux étalons*. Le principe du calcul consiste à combiner l'alumine à la potasse, à la soude et à une quantité convenable de

1. *Quantitative classification of igneous rocks*, Chicago-London, 1903, avec compléments, *in* H. Washington, Chemical analysis of igneous rocks. *U. S. Geol. Survey*, Prof. Pap. 99, 1917, p. 1151.

chaux et de silice pour former des feldspaths (ou des feldspathoïdes), puis à distribuer le reste de la silice entre les oxydes bivalents pour constituer, suivant les cas, des ortho- ou des métasilicates ou les deux réunis, avec parfois résidu de silice libre ; les minerais, l'apatite, etc., sont en outre calculés. On établit ainsi deux groupes de composés, les minéraux blancs (*quartz, feldspaths, feldspathoïdes*), les minéraux colorés [*ortho-* et *métasilicates, minerais* (magnétite. ilménite), *apatite,* etc.].

On voit, en définitive, que cette opération consiste à mesurer, en quelque sorte, la composition chimique de toutes les roches à l'aide d'une même échelle arbitraire, cette réduction uniforme permettant de multiples comparaisons. Le choix de ces minéraux étalons a du reste été fait en tenant compte de réalités souvent constatées. Quand, en effet, la roche ne renferme pas de silicates ferro-magnésiens alumineux, la composition calculée, que j'appellerai désormais la *composition virtuelle* [1], ne diffère généralement pas de la composition observée ; mais si de tels silicates existent dans la roche, la réalité ne coïncide plus avec le calcul, puisque la base de celui-ci consiste à exprimer à l'état de feldspaths toute l'alumine qui existe sous une autre forme minéralogique : l'extraordinaire variabilité de la composition chimique de ces silicates alumineux dans les roches ne permet pas de les calculer en nature. Si le minéral alumineux est du mica, le calcul donne trop d'orthose, s'il est constitué par de l'augite ou de la hornblende, c'est l'anorthite calculée qui est en excès. Dans ce qui va suivre, j'appellerais *feldspath virtuel* la somme des feldspaths calculés ; sa valeur donne la mesure de ce que j'appellerais le maximum de possibibité feldspathique du magma, s'il était possible d'employer un semblable barbarisme. J'appelle *feldspath potentiel* la différence existant entre le feldspath virtuel et le feldspath réel ; sa valeur donne la mesure de l'alumine entrant dans la constitution des silicates ferro-magnésiens. Ceci ne constitue pas un simple jeu de calcul dépourvu d'application ; on peut faire remarquer en effet que la composition virtuelle se rapproche toujours d'une composition possible, qui est précisément celle réalisée par le procédé de cristallisation le plus simple, celui de la fusion ignée, c'est-à-dire celui qui est vu à l'œuvre dans la formation des laves. Ce fait ne doit pas être perdu de vue, quand on compare, à l'aide de ces calculs, les roches grenues et les laves d'une même région, ayant souvent des compositions minéralogiques fort différentes. C'est cette comparaison entre la composition réelle et la composition virtuelle de bien des roches qui m'a conduit à une notion que je considère comme féconde, celle des *types hétéromorphes* [2], c'est-à-dire des roches qui, ayant même composition chimique, possèdent une composition minéralogique différente et parfois très différente. On en trouvera de nombreux exemples dans ce livre, tel celui des luscladites, berondrites, mafraïtes des intrusions post-liasiques du Nord-Ouest. Je rappellerai aussi le cas des *ariégites,* formées de spinelle, de grenat, de diopside, d'enstatite ; malgré l'absence de feldspaths, elles ont cependant la même composition chimique que certains gabbros, et par fusion et recristallisation, elles donnent un basalte [3].

Arrivons aux détails de la classification chimico-minéralogique. Les quatre divisions dont il a été question plus haut sont elles-mêmes subdivisées en cinq parties, suivant la valeur des rapports minéralogiques ou chimiques qui vont être précisés ci-dessous. Le schéma ci-contre résume la valeur de ces divisions et les symboles par lesquels ils sont exprimés dans les chapitres suivants.

1. Les auteurs du système appellent cette composition calculée *Norm,* le *Mode* étant la composition réelle.
2. *C. Rendus,* t. CLXV, 1917, p. 486 et CLXX, 1920, p. 23.
3. A Lacroix, *VIII*e *Congrès géol. intern., Comptes Rendus* (Paris, 1900), 1901, p. 807.

Les *classes* sont basées sur la valeur du rapport des éléments blancs aux éléments colorés ; dans les trois premières classes, les subdivisions sont établies sur des rapports empruntés aux éléments blancs prédominants et pour les deux autres aux éléments colorés qui jouent le rôle principal. Il y a donc là une discontinuité dans la classification, or, tout montre que dans les roches il y a une continuité complète dans toutes les directions et c'est en cela précisément que réside l'impossibilité d'établir une classification naturelle. Pour obvier à cet inconvénient, qui est d'ailleurs racheté par l'intérêt qu'il y a à donner dans une classification le pas au caractère

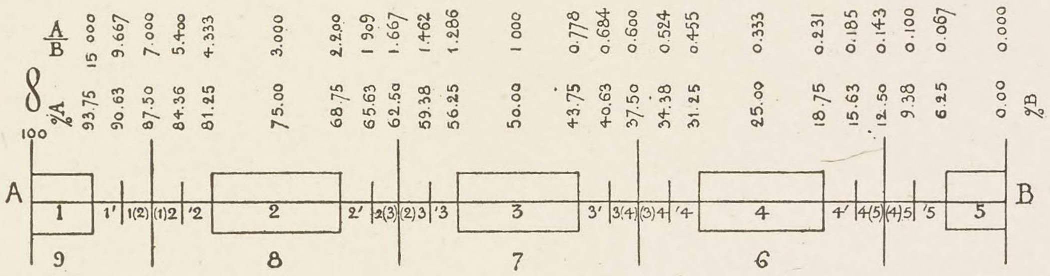


FIG. 7. — Échelle donnant la valeur des rapports auxquels correspondent les symboles.

prédominant, j'indiquerai toujours pour les roches appartenant aux classes III et IV les symboles correspondants à chacun des deux points de vue, mettant entre crochets, le symbole qui est donné comme renseignement complémentaire.

Classes I à III. — L'*ordre* est basé sur la valeur du rapport du quartz ou des feldspathoïdes aux feldspaths. Le cinquième ordre correspond au cas où ce rapport est nul ou très petit ; il constitue donc le point de contact des deux types de composition ; il comprend les roches *quartzifères*, les roches *néphélinifères* et celles qui ne renferment ni quartz ni feldspath, et qui constituent une limite. Les ordres 1 à 4 correspondent aux roches *quartziques*, les ordres 6 à 9 aux roches *néphéliniques*, etc.

Le *rang* est défini par le rapport des alcalis (des feldspaths et des feldspathoïdes) à la quantité de chaux entrant dans les feldspaths. Il donne une idée de la basicité du plagioclase. Dans le cas de $K^2O = 0$, le rang 1 correspondrait à un plagioclase à 7 pour 100 d'anorthite ; le rang 2, à 7 à 25 pour 100 ; le 3, à 25 à 50 pour 100 ; le 4, à 50 à 80 pour 100 ; le rang 5 aux plagioclases renfermant de 80 à 100 pour 100 d'anorthite.

Enfin le *subrang* est basé sur le rapport de la potasse à la soude ; il indique la proportion ou plutôt la possibilité de l'existence ou de l'absence de feldspath potassique ou de leucite.

Classes IV et V. — Dans les classes IV et V, les rapports fondamentaux sont empruntés aux minéraux colorés ; une subdivision de la classe est basée sur le rapport de la somme des ortho- et des métasilicates à celle des minerais. L'*ordre* est établi sur le rapport des pyroxènes au péridot, il fournit un des paramètres les plus suggestifs ; le *rang*, sur le rapport de la somme de la magnésie et du fer ferreux à la chaux entrant dans les métasilicates ; ce rapport donne une idée de la nature des pyroxènes ; enfin, le *subrang* est fourni par le rapport de la magnésie au protoxyde de fer.

Comme exemple de l'intérêt que présentent de tels paramètres, j'indiquerai qu'une roche caractérisée par 1.4.2.3, doit être interprétée de la façon suivante ; 1, grande prédominance des minéraux blancs ; 4, parmi ceux-ci, abondance du quartz ; 2, plagioclase du

groupe de l'oligoclase ; 3, abondance de la potasse et par suite présence de l'orthose ; la roche est minéralogiquement un granite monzonitique si elle est grenue, ou une dellénite, si elle est de nature volcanique. Dans une roche dont les paramètres sont : II.6.1.4, II indique la prédominance des éléments blancs, mais avec une quantité notable de minéraux colorés. 6, une quantité importante de feldspathoïdes (néphéline) ; 1, l'absence de plagioclases ; enfin 4, la prédominance de la potasse sur la soude, mais avec une quantité encore notable de potasse ; minéralogiquement, la roche est une syénite néphélinique ou son équivalent microlitique, une phonolite, et ces paramètres ne laissent aucun doute sur la place occupée par cette roche parmi les syénites néphéliniques ou les phonolites.

Des considérations qui viennent d'être exposées au sujet du mode de calcul et de la notion des types hétéromorphes, il ressort clairement que mes cinq groupements basés sur les proportions relatives des éléments colorés *exprimés* ne coïncident pas tous avec les classes de la classification chimico-minéralogique. Cette coïncidence n'existe que pour les deux premières divisions des deux systèmes. En général[1], pour les autres, la différence est d'autant plus grande que la proportion des silicates colorés alumineux est plus élevée. Dans les roches considérées on ne devra donc pas s'étonner de voir par exemple une roche holomélanocrate, une ariégite, appartenant à ma cinquième classe, être accompagnée du symbole chimico-minéralogique III.5.4.4.

Il me reste, pour terminer, à définir quelques termes dont je ferai souvent usage. Il est fréquent de rencontrer dans les roches éruptives, des concentrations locales de certains éléments colorés. Les taches basiques du granite, celles que nous trouverons si fréquemment dans les syénites néphéliniques du Nord-Ouest de Madagascar, en sont des exemples. Je les ai appelées [131] des *facies de variation*; dans ce cas, ils sont dus à des différenciations normales du magma; les *enclaves homœogènes* des roches éruptives sont aussi des facies de variation de ce genre, charriés par le magma ; les uns ont été formés dans celui-ci, les autres ont été arrachés à des gisements en place (nodules à olivine dans les basaltes). Il existe aussi des facies de variation dus à des phénomènes endomorphes (taches basiques dans les syénites néphéliniques de Nosy Komba produites par dissolution d'enclaves calcaires). Les facies de variation sont donc le résultat de phénomènes effectués dans le magma, mais sans production de corps géologiques distincts.

Par contre, une *série lithologique* est formée par l'ensemble des roches issues d'un même magma et qui, appartenant à des familles différentes, présentent des caractères minéralogiques et chimiques communs et sont associés sous forme de corps géologiques indépendants (filons, intrusions), dus à des mises en place

1. La coïncidence n'existera pas entre un gabbro mélanocrate à diallage alumineux, mais sera complète pour une norite ou une troctolite dépourvues d'augite.

distinctes. Les granites, les syénites, les syénites néphéliniques potassiques (itsindrites) de la région d'Ambatofinandrahana sur les Hauts Plateaux ; les syénites, les syénites néphéliniques, les monzonites néphéliniques, les théralites, les essexites, les berondrites à hornblende brune, des intrusions post-liasiques du Nord-Ouest, représentent deux exemples caractéristiques de séries lithologiques.

En terminant, j'indiquerai que j'appelle minéraux *symptomatiques* ceux dont la présence dans une roche est une conséquence nécessaire d'une certaine propriété chimique du magma ; telle est par exemple l'aegyrine, qui n'apparaît que lorsque le nombre des molécules de soude est supérieur à celui des molécules d'alumine, sa présence implique l'absence nécessaire de feldspaths calcosodiques ; l'hypersthène qui n'apparaît que si le nombre des molécules de magnésie est très supérieur à celui de la chaux non feldspathisable ; le corindon, le spinelle, la cordiérite qui ne se voient que dans les roches sursaturées d'alumine, etc.

Ni le quartz ni l'olivine ne sont des minéraux absolument symptomatiques ; on verra plus loin décrites des roches quartzifères (*vaugnérite, antsohite*), dans lesquelles le calcul ne peut mettre en évidence de silice libre et inversement des roches à péridot (labradorites, basaltes, etc.) qui renferment de la silice libre virtuelle.

Numérotage des analyses. — Les analyses des roches malgaches données plus loin portent un numérotage continu (**1**, **2**, **3**, etc.) dans tout ce livre ; par contre, celles fournies pour comparaison portent un numérotage spécial à chaque tableau, A, B..., pour les analyses inédites que j'ai fait faire en vue d'un autre ouvrage, et *a*), *b*), *c*), etc., pour celles qui sont empruntées aux travaux antérieurs de divers auteurs ou de moi-même et dont la référence bibliographique est donnée. Certaines des analyses des roches de la région d'Ampasindava faites par Pisani, que j'ai publiées en 1902 et en 1903 [131-132] ont été refaites partiellement, des défectuosités dans le dosage de l'alumine et de la chaux, en particulier, ayant été constatées ; on ne devra donc pas s'étonner de quelques discordances entre les données actuelles concernant ces roches et celles fournies antérieurement.

PREMIÈRE DIVISION

ROCHES INTRUSIVES ET FILONIENNES DU MASSIF CRISTALLIN

Dans cette divison, sont traitées les roches éruptives du Massif cristallin, à l'exclusion des roches volcaniques post-liasiques dont l'étude constitue la Troisième Division de ce livre.

La distribution géographique de ces roches ayant été exposée dans le chapitre II du tome I (pages 19 à 51), je n'y reviendrai pas ici ; je ne me suis pas astreint à parler des roches de tous les gisements énumérés dans le chapitre précité, mais, pour chaque type, j'ai choisi des exemples caractéristiques, empruntés parfois à des gisements dont j'ai eu connaissance depuis l'apparition de mon premier volume.

Ces roches sont intrusives ou filoniennes. En l'absence de tout sédiment daté, leur âge reste indéterminé, mais il n'est pas douteux que la plupart d'entre elles, sinon toutes, ne soient paléozoïques. Peut-être seulement faut-il faire quelques réserves à cet égard pour certains dykes de roches basiques et particulièrement pour ceux de gabbros à facies diabasique dont tous les caractères et la fraîcheur rappellent ceux des roches similaires, en dykes dans les sédiments triasiques de la bordure occidentale du Massif cristallin [1].

On ne trouvera, décrite dans les chapitres suivants aucune roche d'épanchement autre que les roches post-liasiques ; je suis persuadé cependant qu'il existe, notamment dans la région forestière de l'Est, des épanchements anciens ; j'en donnerai en particulier un exemple dans l'étude des transformations des roches

1. Voir aussi page 230, la remarque touchant un granite de la vallée du Mangoro.

éruptives conduisant à la formation de schistes cristallins[1]. Peut-être en est-il de même pour certaines des roches volcaniques de l'Andringitra, de la Rienana, mais les renseignements que je possède sur elles — réduits à quelques échantillons dépourvus d'indications géologiques — sont si maigres, qu'il m'a paru préférable de ne pas les traiter à part; je tiens seulement à signifier que cette question ne m'a pas échappé.

1. Cf. p. 454.

CHAPITRE PREMIER

ROCHES QUARTZIQUES

I. — GRANITES ALCALINS. GRANITES A PYROXÈNE ET AMPHIBOLE SODIQUES.

A. — *Granite à riebeckite et aegyrine.*

Je ne connais dans le Massif cristallin qu'un seul gisement de cette roche ; il constitue le sommet de Makaraingobe, au Sud de Maevatanana ; il est associé à un gneiss à néphéline. C'est une roche à gros grain, assez friable, essentiellement constituée par du quartz, du microcline quadrillé, dépourvu de microperthite, associé parfois à de l'albite en cristaux indépendants, à larges macles ; la roche est assez riche en riebeckite d'un noir bleuâtre, accompagnée d'un peu d'aegyrine ; cette amphibole paraît être un peu orientée. La structure est granulitique (*analyse* 1).

B. — *Granite à aegyrine.*

Je ne connais aussi que deux gisements de ce type granitique, ils ont été recueillis par M. Perrier de la Bathie sur un affluent de gauche de l'Imorona, en aval d'Itorendrika et à proximité des pegmatites de syénite à aegyrine et torendrikite.

Cette roche est très leucocrate ; elle renferme une petite quantité d'aegyrine, quelques gros cristaux ($b^{1/2}$) zonés de zircon et du sphène. Le microcline et l'albite, en cristaux indépendants, ne sont pas intimement mélangés, ils forment des îlots distincts, ce qui me donne à penser que la structure doit être considérée non pas comme granulitique, mais comme granoblastique et que ce granite, primi-

tivement à grands éléments, a subi des transformations du genre de celles qui sont décrites page 443 (*analyse* **2**).

Une roche analogue recueillie à 3 kilomètres d'Ambatofinandrahana, renferme, associée à l'aegyrine, un peu d'amphibole d'un vert foncé.

C. — *Granite à amphibole bleue.*

A Saradolo, sur le chemin d'Ambatofangehana à Ambatofinandrahana, les phyllites sont traversées par deux filons de 2 mètres à $1^{m},50$ d'épaisseur, constitués par une roche à apparence microgrenue grise, renfermant des cristaux feldspathiques rosés plus gros ; en réalité, il s'agit là d'une roche porphyroclastique, non rubanée ; les cristaux roses sont des débris de microcline, de quartz et d'aiguilles d'une amphibole très dispersive du groupe de la torendrikite, mais presque incolore, avec de petits grains d'aegyrine et de calcite secondaire. Il s'agit là certainement d'un granite alcalin déformé par actions mécaniques et en voie de recristallisation. On verra page 375 que les syénites alcalines de cette région présentent fréquemment des transformations de cet ordre.

Dans la collection de roches recueillies en 1890 par Catat, j'ai trouvé un petit échantillon de granite à aegyrine miarolitique, absolument identique au granite de l'Ambohitrosy, qui sera décrit dans le chapitre consacré aux roches postliasiques. Il est indiqué comme provenant de la vallée du Mangoro, sans plus de précision. L'Ambongo étant inconnu à l'époque du voyage de Catat, il ne saurait être admis que cet échantillon puisse en provenir. Il serait d'un intérêt capital de retrouver le gisement de cette roche ; elle présente en effet le trait minéralogique caractéristique des roches alcalines relativement récentes de Madagascar, ayant formé des intrusions voisines de la surface, c'est-à-dire une microperthite d'orthose et d'albite qui manque dans toutes les roches alcalines anciennes du Massif cristallin ; la découverte de cette roche en place apporterait de très grandes présomptions en faveur de l'hypothèse de l'existence dans le Massif cristallin, de roches éruptives intrusives post-paliozoïques.

D. — *Microgranite à aegyrine.*

A 2 kilomètres au Sud d'Ambatofinandrahana, la série calcaréo-quartziteuse est traversée par un véritable filon microgranitique à aegyrine, c'est le seul

exemple que je connaisse de cette roche dans le Massif cristallin, et encore passe-t-elle à la microsyénite (*analyse* 3).

Il est intéressant de faire remarquer — et je reviendrai sur cette question —, que toutes les roches alcalines granitiques qui viennent d'être décrites ont pour feldspath le microcline quadrillé, dépourvu de microperthite, avec de l'albite en cristaux indépendants.

E. — *Composition chimique.*

1) *Granite à riebeckite* de Makaraingo, 1'.4.1.3'; 2) *granite à aegyrine,* aval d'Itorendrika, 1'.4.1.4; 3) *microgranite à aegyrine* passant à microsyénite; 2 kilomètres Sud d'Ambatofinandrahana II.(4)5.1.(3)4.

On voit que ces roches présentent comme caractéristique commune leur pauvreté en chaux et en magnésie, mais que le rapport des alcalis est variable.

Ces analyses (M. Raoult) seront comparées plus loin à celles des roches similaires de la région sédimentaire.

	1	2	3
SiO^2	73,80	71,12	65,18
Al^2O^3	12,18	14,15	14,50
Fe^2O^3	1,58	3,05	3,71
FeO	1,92	0,59	0,78
MgO	tr.	0,66	0,37
CaO	0,62	0,70	1,38
Na^2O	4,56	6,82	6,67
K^2O	4,80	2,64	5,11
TiO^2	0,13	»	0,58
P^2O^5	0,08	0,07	0,07
H^2O +	0,09	0,41	1,11
—	0,23	0,09	0,17
CO^2	»	»	0,49
	99,99	100,30	100,12

II. — SÉRIE CALCO-ALCALINE.

A. — *Granites monzonitiques.*

Les granites jouent un rôle considérable dans la constitution du Massif cristallin, sous forme de massifs de dimensions variées, sous forme aussi de dykes; ils se rencontrent aussi bien dans la série schisto-quartzito-calcaire que dans la série gneissique. Je ne m'occuperai ici que de ceux dans lesquels la structure originelle

est restée intacte, réservant au chapitre des schistes cristallins l'examen de ceux, plus nombreux encore peut-être, qui ont été transformés en orthogneiss. Il n'est pas toujours possible d'ailleurs d'établir une limite de démarcation certaine entre ces deux cas.

Parmi les très nombreux échantillons granitiques que j'ai examinés, soit au point de vue minéralogique, soit au point de vue chimique, je n'ai pas trouvé de types extrêmement potassiques. Ceux qui, de beaucoup, prédominent, appartiennent au groupe monzonitique ; le feldspath potassique y est en proportion au moins égale et généralement supérieure aux plagioclases ; au point de vue chimique, ils sont donc caractérisés par la prédominance (pondérale) de la potasse sur la soude, mais les proportions relatives des deux alcalis ne sont souvent pas très éloignées de l'égalité ; quant à la teneur en chaux, elle oscille entre 1 et 5 pour 100.

Au point de vue minéralogique, ces granites sont souvent très quartziques ; le feldspath potassique est généralement du microcline, d'ordinaire dépourvu de facules d'albite, il est toujours accompagné par un plagioclase du groupe de l'oligoclase, plus rarement de l'andésine ; la myrmékite est assez fréquente. Le minéral coloré le plus habituel est la biotite, en petites paillettes hexagonales ; elle est fréquemment associée à une hornblende verte (2 V très petit) et parfois aussi à du diopside vert clair.

L'allanite est fréquente, parfois macroscopique (Ambohitrolomahitsy, Tatamokely), plus souvent microscopique ; elle englobe parfois des cristaux de zircon (seuil de Farabantsana ; entre Ambatolampy et Antsirabe, etc.).

Il faut distinguer un certain nombre de variétés, à la fois minéralogiques et structurales.

a. — Granites presque hololeucocrates.

Ces granites sont extrêmement fréquents, en massifs ou en gros dykes, traversant les gneiss ou intercalés au milieu d'eux, traversant aussi la série calcaréo-quartziteuse ou les autres types de granite.

Leur caractéristique réside dans la teneur extrêmement faible en minéraux colorés qui peut devenir presque nulle. Le zircon et l'apatite, la magnétite ne manquent guère. Ce sont en outre des roches à grain fin, à structure granulitique, qui ressemblent par suite à des aplites. Elles sont parfois d'un blanc de lait, souvent aussi jaunâtres ou rosées. Quelquefois fort cohérentes, elles sont dans d'autres cas très friables, bien que non altérées (le Mandray, près d'Antsirabe).

Comme exemples caractéristiques, je citerai les gisements suivants :

Dans le Nord-Ouest : Antsalonja, Bandahely.

Le pic d'Andriba ; le Sud d'Anjozorobe (*analyse* 6) ; la falaise d'Ampamarinana, à Tananarive ; dans la région d'Antsirabe, le Mandray, Antseva-Ambohijafy ; le Massif d'Andringitra, puis le Betsiriry (Ambohimihazo) (*analyse* 5) ; le mont Tsaramody, etc.

Quelques variétés doivent y être signalées ; j'ai recueilli aux sources de l'Ivato un de ces granites ne renfermant pas de mica, mais seulement de la hornblende.

Une autre variété est caractérisée par la présence de nombreux octaèdres de magnétite, parfois petits (Tritriva), quelquefois plus gros, porphyriques, et présentant des clivages octaédriques nets (Ambohimarina, au Sud de l'Itasy, au voisinage du gîte aurifère).

En général, ces granites sont remarquables par leur fraîcheur ; les paillettes de damourite en sont absentes ou sont peu nombreuses ; il faut faire une exception pour le granite de la forêt de Bemongo, au Nord d'Antsahivo (Est de Masiakandrongo), dans lequel le plagioclase est criblé de lamelles de damourite, alors que le microcline n'en renferme point ; ce granite, en contact avec des schistes, est dynamo-métamorphisé.

La muscovite primaire paraît être extrêmement rare dans les granites malgaches, je ne l'ai trouvée, associée à la biotite, que dans des blocs de granite recueillis dans le lit de la Mananjeby, à Sakazera.

b. — Granites leucocrates.

Je range sous cette dénomination des granites qui diffèrent des précédents en ce que les éléments colorés y sont plus abondants ; ces roches, grises ou rosées, rappellent comme aspect le granite de Vire en Normandie. La biotite est fort souvent accompagnée de hornblende ; l'apatite et surtout le sphène, en très gros cristaux, sont fréquents et l'allanite n'est pas rare ; elle est assez souvent visible à l'œil nu. Dans quelques cas, la hornblende prédomine sur la biotite et le granite devient véritablement un *granite amphibolique*. Exceptionnellement, la diminution du quartz fait de la roche une monzonite quartzifère (Ambohimirakitra, *analyse* 19).

Ce type granitique est plus répandu encore que le précédent : voici quelques exemples de gisements :

Antsalonja (*analyse* 16) ; Andrahara, sur la Mananjeby, à l'Est d'Ambakirano ; Ampangabe, sur la Jabo ; Sud d'Ambatondrazaka ; Ambatomafana (rapides du Maningory) ; Fihaonana, au Sud d'Ankazobe ; Ambohitrolomahitsy et Tatamokely (avec allanite macroscopique) (Cf. T. I, p. 453) ; Tananarive et ses environs

(*analyse* **4**) ; Ambatomaro (*analyse* **13**) et Antanjombato, sur l'Ikopa; dans la région d'Antsirabe : environs d'Ovimangidy, vallée de la Sahatany (*analyse* **8**), et du Vontovorona, Vinaninkarena ; mont Ikaka, près Anjanabonoina ; dans la région d'Ambositra : près d'Imerina, entre Ivony et Andina; Ampasinambo, sur la Sahadranambo, affluent du Sakaleona ; la base du mont Belambana, puis entre Ivibe et Analabe, à l'Ouest de l'Andringitra, et cette dernière montagne elle-même; Est de Sahariana, près de la Manandriana (affluent de droite du Matsiatra; mont Marofasana, Nord de Ramartina (*analyse* **7**) et Ambohipisaka (Betsiriry); entre Ambaravarananahary et Ambatomainty (dykes dans calcaires cristallins au voisinage du Trias).

Ces granites renferment fréquemment des facies de variations plus basiques (Nosizato, près Tananarive, *analyse* **20**) et des *enclaves homœogènes,* micacées et amphiboliques, à facies granodioritique, dioritique ou monzonitique (*analyse* **22**); de beaux exemples peuvent en être vus sur la route de Tananarive à Antsirabe (Behenjy, etc.), dans les environs d'Ambositra ; entre Maroamalona et Ankoba (feldspaths schillérisés) (*analyse* **22**), etc.

Ces granites présentent des variétés à gros grain, à tendance pegmatique, qui sont généralement moins riches en mica que les granites à grain fin, au milieu desquels ils constituent surtout des facies de variation.

Je signalerai dans la région de Tananarive, Ambatomaro (*analyse* **10**), puis, au Nord-Ouest, Angavokely (quartz bleuâtre à extinctions roulantes), à 25 kilomètres au Nord-Est de la capitale, Ambohipotsy (type très leucocrate violacé avec un peu de hornblende); le Mandray; la base du mont Vatomavo sur la Mania (type riche en biotite); le pic d'Andriba; la chaîne s'étendant entre Fianarantsoa et Ihosy (fréquence de la myrmékite) et notamment le Sud du col d'Ambalavao; entre Ranopiso et Behara (Androy).

Plus fréquent est un type lithologique qui n'est qu'une variété structurale des roches précédentes, c'est le *granite porphyroïde,* au milieu duquel apparaissent des cristaux de microcline, simples ou maclés suivant la loi de Carlsbad, atteignant plusieurs centimètres. Ces roches sont souvent plus riches en minéraux colorés que les types à grain fin. Assez rarement, elles ne renferment que de la biotite (Elakelaka, Androy) (*analyse* **18**); d'ordinaire elles sont amphiboliques et souvent très amphiboliques; c'est parmi elles que se rencontrent les types de granite monzonitique les moins acides; le plagioclase oscille parfois vers l'andésine, la myrmékite est fréquente; l'apatite, le sphène, le zircon sont très répandus et, là encore, l'allanite n'est pas rare.

Voici quelques gisements caractéristiques :

Rivière Mahalevona, à l'Ouest de la presqu'île de Masoala (plagioclase verdâtre);

Ambohijanary (feldspaths rouges et verts), bords et embouchure du Mananara, dans la baie d'Antongil.

A l'Est de Tananarive, entre Alarobia, Soavina et Antelomita, puis entre Antanamalaza et Mantasoa; col à l'Ouest du Vontovorona; entre Fianarantsoa et Ihosy (abondance de la myrmékite); région d'Anjanabonoina; sources de la Masoaramena au Sud-Ouest de Betafo; Ilaka; entre Marovoalavo et Ambatofinandrahana (amphibole, *analyse* **12**).

Parmi les types les plus riches en mica et amphibole (généralement très ferrifère et à angle 2V très petit; hornblende se rapprochant de la hudsonite), je citerai les sources de l'Ivato (*analyse* **11**); les environs d'Ambositra (*analyse* **15**); Ilaka (*analyse* **14**); entre le Vatomavo et la Mania; entre Mahazoarivo et Vohimasina (*analyse* **17**); Manjakandriana.

Le même granite se trouve aussi aux environs d'Ambatofangehana (épidote dans les feldspaths), puis, plus à l'Est, entre Ifasina et Ambohimahatahotra; à Manjakandriana, etc.

Les *enclaves homœogènes* amphiboliques et micacées de nature granodioritique, dioritique ou monzonitique (rivière Mahalevona, *analyse* **21**) ne sont pas moins fréquentes que dans les granites à grain moyen.

c. — **Granites à facies malgachitique.**

On trouvera décrits page 239 ce que j'appelle le *facies malgachitique;* il est assez rarement réalisé dans les granites monzonitiques; cependant je signalerai deux gisements où il est réalisé à l'état typique. Le premier se trouve sur le Tampoketsa d'Ankazobe (*analyse* **9**) et le second au Sud d'Andilalatoby (Sud-Est d'Ambohibolona, Sud-Ouest lac Alaotra) (*analyse* **10**). Il s'agit là de roches à gros grain uniforme, jaunâtres dont le feldspath potassique est de l'orthose; les éléments colorés très peu abondants et discernables surtout au microscope, sont la biotite et l'hypersthène.

A l'exception des granites à facies malgachitique, tous les granites qui viennent d'être étudiés sont très sensibles aux actions dynamiques et aux recristallisations. Leurs micas sont souvent orientés, que la roche soit à grain fin (Nord de Tananarive; Ivahona, entre Ambatofinandrahana et Bedihy), pegmatoïde (entre Ambatolampy et Antsirabe; mont Ambohibe sur le Bemarivo; région de Maevatanana) ou porphyroïdes (Ambatolampy; entre Ambositra et Ambatofangehana). On va voir page 439, étudiée l'influence d'actions plus intenses, transformant ces granites en roches à facies gneissique.

d. — Composition chimique.

J'ai fait analyser un échantillon de toutes les variétés de granite malgache.

Ces analyses sont données dans les tableaux ci-contre, elles sont ordonnées par valeurs décroissantes de silice ; dans toutes, la potasse l'emporte *pondéralement* sur la soude, mais dans aucune d'entre elles la potasse n'est très prédominante ; par suite, dans aucune d'entre elles, le rapport de l'orthose au plagioclase moyen calculé n'est supérieur à 1,6 ; il est compris entre cette valeur et 0,6 ; c'est là la limite qui a été assignée plus haut aux *granites monzonitiques*. Deux exceptions seulement sont à relever, celles des *analyses* **12** et **14**, dans lesquelles ce rapport est un peu plus petit que 0,6 ; le rapport de la potasse à la soude les range dans le même groupe que les autres granites. Ces roches établissent le passage aux *granodiorites*.

ANALYSES (M. Raoult, sauf 14 (Duparc, Wunder et Sabot [1]).

4. Tananarive, 1.3.'2.3 ; **5.** Ambohimihazo, 1.3.2.3 ; **6.** Col Sud Anjozorobe, 1.(3)4.2.3 ; **7.** Nord Ramartina, 1.(3)4.1(2).3 ; **8.** Vallée de la Sahatany, 1.4.'2.3 ; **9.** Ankazobe (facies malgachitique), 1'.4.2.3 ; **10.** Sud-Est d'Ambohibolona (facies malgachitique), I(11).'4.'3.3 ; **11.** Sources de l'Ivato (porphyroïde), I'.4.2.3 ; **12.** Entre Marovoalavo et Ambatofinandrahana (porphyroïde), I.4.2.3'.

	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO^2. . .	77,94	75,76	74,64	72,84	71,12	69,24	68,86	67,24	66,82
Al^2O^3.. .	11,52	11,18	13,14	13,94	15,21	13,52	14,09	15,58	16,66
Fe^2O^3.. .	1,28	3,18	1,25	1,94	1,41	3,09	2,12	1,40	2,40
FeO. . .	1,11	1,13	0,90	1,02	1,39	3,63	2,33	2,73	0,99
MgO. . .	0,35	0,18	0,26	0,33	0,71	0,34	2,06	1,04	0,54
CaO. . .	1,08	1,42	1,72	1,02	1,16	2,12	3,26	2,33	3,14
Na^2O. . .	2,32	2,68	3,36	3,27	3,71	3,19	2,75	3,37	4,16
K^2O. . .	4,33	3,63	4,10	4,99	4,55	4,74	3,53	5,20	4,56
TiO^2. . .	0,12	0,31	0,28	0,23	0,49	0,11	0,38	0,70	0,49
P^2O^5. . .	0,10	0,08	0,13	0,19	0,09	0,09	0,04	0,21	0,28
H^2O + . .	0,09	0,67	0,38	0,45	0,07	»	0,49	0,36	0,14
— . .	0,09	0,09	0,05	0,06	0,25	0,22	0,05	0,13	0,05
	100,35	100,31	100,21	100,28	100,16	100,29	99,96	100,29	100,23

13. Ambatomaro (à biotite et hornblende), 11.4.1.3 ; **14.** Ilaka (à hornblende), 1'.4(5).2.3' ; **15.** Antsalonja (à hornblende), II.4.'2.3 ; **16.** Entre Mahazoarivo et Vohimarina, 1(11).4(5).2.3' ; **17.** Ambositra (à hornblende), II.4.1(2).3 ; **18.** Elakelaka (porphyroïde), 'II.4.2(3).3 ; **19.** *Monzonite quartzifère*, Ambohimirakitra, II.(4)5.2(3).3 ; **20.** Nosizato (à biotite et hornblende), II.4.2.3 ; **21.** Rivière Maha-

levona (enclave monzonitique quartzifère dans granite porphyroïde), II.(4)5.2,3; **22.** *Ibid.* Entre Maroamalona et Ankoba, II.4'.3.3(4).

	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
SiO^2..	65,04	64,24	62,02	61,78	60,82	62,28	55,50	56,86	56,82	54,68
Al^2O^3.	12,33	17,35	10,93	16,03	11,81	14,54	15,29	12,12	13,41	17,64
Fe^2O^3.	4,07	2,33	5,92	2,49	3,24	3,81	5,25	6,48	4,51	3,45
FeO..	2,40	2,05	4,94	3,79	5,69	4,55	4,72	4,56	4,56	6,13
MgO.	0,66	1,04	1,15	0,68	1,99	1,36	1,90	2,88	3,29	1,13
CaO..	4,72	3,52	4,42	4,02	5,62	3,54	6,10	6,76	4,38	5,32
Na^2O.	3,57	4,79	3,08	3,93	3,51	3,23	2,81	2,94	3,07	2,86
K^2O..	5,18	5,02	3,84	4,55	4,31	3,52	4,80	3,57	5,11	3,13
TiO^2..	1,35	0,25	2,41	1,39	2,39	1,99	1,86	2,41	0,66	3,41
P^2O^5..	0,33	0,17	0,73	0,69	0,43	0,29	0,68	0,89	0,64	0,48
H^2O +..	0,50	0,35	0,59	0,54	0,21	0,56	0,48	0,38	2,02	0,35
—..	0,06		»	0,22	0,12	0,29	0,39	0,06	0,28	0,10
	100,21	101,11	100,03	100,11	100,14	99,96	99,78	99,91	100,46[1]	99,92[2]

Comme terme de comparaison, je donnerai ci-contre l'analyse (M. Raoult) de quelques granites français, analogues à ceux qui viennent d'être décrits. A. Vaulry (Haute-Vienne) (à deux micas), 1.'4.2.3'; B. Chédeville près Bessines (Haute-Vienne); *Idem.*, 1.3(4).(1)2.3; C. Sidobre (Tarn) (à biotite), 1'.'4.2(3).3; D. Huelgoat (Finistère), *Idem.*, 1.(3)4.'2.3; E. L'Estagnet de Balbonne (Ariège), I(II).4.2.3; F. Les Rieux (Rhône), *Idem.*, I(II).4.(2)3.3; G. Vire (Calvados) (à biotite), I(II).(3)(4).'3.3; H. Algajola (Corse) (à biotite et hornblende, porphyroïde), II.4.3.3.

	A	B	C	D	E	F	G	H
SiO^2.	73,34	72,16	71,62	71,42	70,04	64,08	69,98	61,56
Al^2O^3.	13,68	15,32	14,65	15,22	14,09	16,44	12,70	15,07
Fe^2O^3.	0,67	0,57	0,53	0,85	0,72	0,43	0,73	2,01
FeO.	1,07	1,41	2,35	1,67	2,18	3,73	3,85	3,98
MgO.	0,09	0,54	0,59	0,72	0,67	1,86	1,41	3,26
CaO.	2,42	1,34	3,06	1,54	3,72	3,74	3,82	5,28
Na^2O.	3,73	2,94	2,87	2,85	3,68	3,32	1,95	2,56
K^2O.	4,18	4,22	3,89	4,91	4,43	3,99	3,90	3,34
TiO^2.	tr.	tr.	0,12	tr.	0,09	1,22	1,01	1,42
P^2O^5.	0,37	0,33	0,09	0,17	0,17	0,23	0,19	0,66
H^2O +.	0,38	0,95	0,39	0,67	0,34	0,56	0,69	0,45
—.	0,11	0,11	0,11	0,04	0,02	»	»	0,07
	100,04	100,05[3]	100,34[4]	100,15[5]	100,24[6]	99,60	100,42[7]	99,75[8]

1. Y compris CO^2 1,51.
2. Y compris CO^2 1,16 ; Cl. 0,08.
3. Y compris Li^2O 0,16.
4. Y compris F = 0,07.
5. Y compris F = 0,09.
6. Y compris F = 0,09.
7. Y compris F = 0,19.
8. Y compris F = 0,09.

B. — *Microgranites.*

Je ne connais que deux exemples de microgranite sur les Hauts Plateaux. Le premier consiste en un filon traversant un gabbro à facies diabasique que j'ai rencontré près de Vavatenina, en descendant du lac Alaotra à la côte.

Cette roche est intéressante, car elle est certainement le résultat d'une différenciation effectuée dans le magma qui a fourni le gabbro ; dans la même région, en effet, j'ai observé fréquemment au milieu de roches de ce genre de petites veinules de quelques centimètres, ou même de quelques millimètres de diamètre, formées par une association micropegmatique de quartz et d'orthose. Le microgranite de Vavatenina est une roche à grain fin, uniforme, jaunâtre ; le microscope y montre des phénocristaux d'andésine, entourés par de grandes plages étoilées de micropegmatite, de quartz et d'orthose à grands éléments ; il existe un peu de biotite et d'un métasilicate décomposé qui semble avoir été de l'hypersthène (*analyse* **23**).

Le second gisement se trouve sur les bords de l'Andrantsay près d'Andramasina. Un gabbro ouralitisé est traversé par des veinules rosées de quelques centimètres d'épaisseur d'une roche établissant le passage entre un microgranite et une aplite ; des cristaux automorphes d'anorthose cerclés d'orthose, sont entourés par des grains de quartz et des cristaux de feldspath ayant la même forme que des cristaux plus gros ($p\,m\,g^1\,a^{1/2}$) allongés suivant pg^1. Il existe fort peu de biotite. (*analyse* **23** *bis*).

L'analyse 23 (Pisani) conduit à des paramètres : I'.'4.(1)2.3, l'analyse 23 *bis* à des paramètres I.4.1'.3', qui permettent de comparer, au point de vue chimique, ce microgranite aux granites monzonitiques ; le calcul fournit un plagioclase moyen à 19 pour 100 d'anorthite, moins calcique que le feldspath exprimé ; il faut donc en conclure que l'orthose de la micropegmatite est un peu sodique.

	23	23 *bis*
SiO^2	72,50	70,88
Al^2O^3	12,50	14,44
Fe^2O^3	1,33	2,19
FeO	0,89	1,01
MgO	1,78	0,14
CaO	1,08	0,92
Na^2O	3,17	4,35
K^2O	4,87	5,18
TiO^2	0,67	0,42
P^2O^5	0,02	0,19
H^2O +	1,60	0,35
—		0,21
	100,41	100,26

C. — *Granodiorites, diorites et gabbros quartziques. Le facies malgachitique.*

α. — Granodiorites.

Les granodiorites établissent la liaison entre les granites et les diorites; elles sont caractérisées par une proportion de plagioclases plus élevée que dans les premières de ces roches; le rapport de l'orthose aux plagioclases est plus petit que 0,6, la teneur en soude est supérieure à celle en potasse. Dans la pratique, je cesse d'appeler granodiorite une roche de ce genre, lorsque le feldspath monoclinique n'y est plus perceptible au microscope.

Fort souvent, l'augmentation du plagioclase et sa basicité plus grande sont accompagnées d'une augmentation de la proportion de la hornblende et parfois même de la disparition de la biotite. Un type micacé de granodiorite, localement porphyroïde, existe à Nosizato, près Tananarive et au seuil de Farahantsana sur l'Ikopa (*analyse* **26**). Il renferme des accidents rubanés dont certains, pauvres en quartz, sont de véritables diorites quartziques. L'examen microscopique montre l'abondance de cristaux d'allanite, de sphène à macles polysynthétiques répétées (Farahantsana).

Une variété à grain fin, de couleur noire, riche en biotite et en sphène englobés poecilitiquement par du microcline et du quartz, se rencontre entre Ambatomainty et Makaraingo, alors qu'une variété grise (avec épidote dentelliforme) a été recueillie à Ambaravarananahary, entre Ankavandra et Ambatomainty.

Une granodiorite, riche en biotite et hornblende ainsi qu'en myrmékite, a été observée à l'Ouest d'Ivony, dans la région d'Ambositra.

b. — Le facies malgachitique.

L'un des traits intéressants de la lithologie des roches anciennes de Madagascar consiste dans l'existence de roches de composition minéralogique très différentes, puisqu'elles comprennent des granodiorites très leucocrates, des diorites, des gabbros, quartziques ou non, mais ayant toutes un facies extérieur si identique qu'il saute aux yeux sur le terrain.

Ce sont des roches à gros grain ou à grain moyen, à cassure écailleuse ou brillante, surtout quand elles sont pauvres en minéraux ferromagnésiens; dans ce cas, leur couleur est d'un jaune de cassonade et, dans le cas contraire, noirâtre. Leur aspect rappelle un peu celui des *charnockites* de l'Inde.

Dans le type granodioritique qui, seul, nous intéresse ici, l'on ne distingue, à

l'œil nu, que les feldspaths jaunis et du quartz brunâtre. Tel est le cas du type le plus leucocrate que j'ai rencontré à Andriantany, près de Tananarive (*analyse* **24**). Les minéraux constants sont le quartz, l'orthose (et non plus le microcline comme dans la plupart des granites monzonitiques), puis des plagioclases oscillant entre l'oligoclase-andésine et l'andésine-oligoclase, un peu de biotite, d'apatite, de zircon et de magnétite; les feldspaths sont souvent schillérisés, le quartz renferme de très fines inclusions lamelleuses cristallines, enfin la myrmékite est fréquente. Le mica, qui est très caractéristique, est souvent accompagné d'une petite quantité de hornblende brune, d'hypersthène ou de diopside vert clair. La réduction de la teneur en orthose et l'augmentation des minéraux colorés, la basicité plus grande des plagioclases conduisent aux diorites, puis aux gabbros quartziques, aux gabbros quartzifères, et enfin aux gabbros sans quartz, décrits plus loin.

Je donne le nom de *facies malgachitique* à cet aspect spécial des roches de la Grande Ile.

Voici quelques exemples des variétés minéralogiques que j'ai rencontrées dans les granodiorites à facies malgachitique. La structure la plus habituelle de ces granodiorites est granulitique; ces roches se trouvant toutes dans la région gneissique et une disposition rubanée apparaissant parfois dans les types les plus riches en minéraux colorés, on peut se demander s'il ne faudrait pas parler de structure granoblastique, du genre de celle dont il sera question plus loin dans le chapitre des schistes cristallins, une telle hypothèse permettrait peut-être d'expliquer, par une communauté de conditions de recristallisation, cette analogie de caractères extérieurs, si frappante dans des roches parfois éloignées de composition minéralogique et chimique.

Les roches à facies malgachitique, et particulièrement les granodiorites, se rencontrent dans toute l'étendue de l'île ; voici quelques-unes des variétés minéralogiques que j'ai observées, avec l'indication de gisements caractéristiques.

Type presque hololeucocrate : Andriantany (Ouest de Tananarive), Behenjy; nombreux gisements dans l'Androy.

Type avec amphibole seule : Ouest d'Ambatovory.

Type à diopside : Rivière Ankingafohy (mont Manakanala, au Sud d'Ambohitsara, région de Bejofo).

Type à diopside et hornblende : Sud de Tanifotsy; Nord d'Anjozorobe; Ampamarinana à Tananarive; Ambohimangakely, près de la capitale.

Type à hypersthène et hornblende : Nord d'Anosiroa, au Nord-Est d'Anjozorobe; seuil de Farahantsana.

Type à hypersthène et diopside : Befiana, sur l'Andranomalaza.

Type à hypersthène : Est d'Ambonihazo ; entre col d'Isaka et Ranomafana ; pied du col d'Elekelaka (Androy).

Ces roches renferment parfois des accidents basiques plus ou moins rubanés, ayant l'aspect de gneiss amphiboliques.

Aux exemples qui viennent d'être passés en revue et dans lesquels l'élément coloré principal est la biotite, il faut citer quelques cas dépourvus de mica : Entre Fihaonaa et Soaniadanana, sur la route d'Ankazobe ; le kilomètre 248 de la route du Sud vers Ambositra ; Col entre Manahalo et Elekelaka (Androy). Exceptionnellement, le plagioclase diminue et la roche passe ainsi à des granites monzonitiques (Tampoketsa d'Ankazobe) (*analyse* **9**).

Il me reste à signaler des cas dans lesquels la roche devient pegmatique. De grands cristaux de biotite, de hornblende et d'hypersthène sont poecilitiques par rapport aux feldspaths (Anosiroa).

c. — Composition chimique.

Les granodiorites comprennent les granites dans lesquels la soude prédomine sur la potasse ; le rapport calculé de l'orthose aux plagioclases est plus petit que 0,60 : par diminution de la teneur en potasse, l'orthose disparaît et la roche passe aux diorites quartziques.

24. *Granodiorite* hololeucocrate (à facies malgachitique), Andriantany, I'.4.(2)3.(3)4 (Boiteau) ; **25.** *Granodiorite,* Amont d'Ambinda, sur l'Itsindra, I(II).4'.(2)3.'4 ; **26.** *Idem.* Seuil de Farahantsana, II'.4(5).3(4).(3)4. Je donne comme comparaison quelques analyses des granodiorites françaises : A. Llagone (Pyrénées-Orientales) (à biotite et hornblende), II.4.'3.(3)(4) ; B. Diélette (Manche), I(1).4.2.(3)(4) ; C. Caillaouas (Hautes-Pyrénées). II.4.3'.3(4) (M. Raoult).

	24	25	26	A	B	C
SiO^2	68,61	63,28	52,60	59,42	67,68	57,30
Al^2O^3	16,08	17,29	15,42	16,52	14,61	17,61
Fe^2O^3	1,03	1,86	5,36	0,43	1,80	1,29
FeO	1,60	2,37	5,83	5,78	1,86	5,27
MgO	1,00	1,14	4,72	2,26	1,59	2,83
CaO	3,48	4,90	8,00	8,50	3,82	7,12
Na^2O	3,62	4,34	2,41	2,82	4,17	2,61
K^2O	3,07	3,42	2,13	2,49	3,88	2,57
TiO^2	0,59	0,54	1,22	1,44	0,46	2,11
P^2O^5	0,20	0,08	0,73	0,21	0,23	0,38
H^2O+	0,31	0,65	0,43	0,51	0,11	0,54
—	0,18	0,30	0,17	»	0,04	0,09
	99,77	100,17	99,95[1]	100,38	100,25	100,01[2]

1. Y compris CO^2 0,93.
2. Y compris F 0,29.

d. — Diorites quartziques.

Cette roche, d'un gris noir, à gros grain, formée de hornblende, de biotite, d'andésine et de quartz, renferme toujours un peu d'orthose dans les gisements malgaches que j'ai étudiés ; elle paraît constituer un passage aux granodiorites. Toutefois, le feldspath y est fréquemment aplati suivant g^1 : Sud du Iankiana, sur la route d'Ovimangidy ; Belambo près de Maevatanana.

Variété à facies diabasique. — Un type spécial, filonien, à grain fin et de couleur claire, est à la roche précédente ce qu'une diabase intersertale est à un gabbro. Il forme un filon à Ampontsiambo, près du placer d'Ambodimanga, dans la région de Mahanoro. Des cristaux aplatis et enchevêtrés d'andésine, sont localement moulés par un peu d'augite et de quartz. Le plagioclase est frangé de micropegmatite. Il existe aussi de l'apatite, de la titanomagnétite cerclée de sphène et de l'épidote.

Ce même type se rencontre à l'Ouest de Fénérive, notamment à Vohiborimo près Anosibe (*analyse* **30**) ; on y voit le passage à des diorites, à facies diabasique, seulement quartzifères.

Diorites hypersthéniques quartziques. — Des diorites quartziques très leucocrates, à facies malgachitique, et dont le pyroxène est un hypersthène accompagné d'un peu de hornblende, se trouvent à l'Est de Vodivato, au Nord du lac Alaotra ; j'en ai recueilli des blocs sur la côte Nord-Ouest du lac, en allant au mont Ankitsika.

e. — Gabbros quartziques à hypersthène.

Cette roche a le même aspect malgachitique que la précédente, mais sa couleur est plus foncée et son feldspath est du labrador ; elle se rencontre également aux environs du lac Alaotra, aux environs d'Andreba (*analyse* **31**).

f. — Composition chimique des diorites et gabbros quartziques.

Au point de vue chimique, ces roches se distinguent des granites par une teneur en silice, en général, un peu moindre, et par une pauvreté plus grande encore en potasse, qui empêche la production d'orthose.

27. *Diorite quartzique* (à facies malgachitique), Tanifotsy (route de Tananarive à Anjozorobe), II.4.'3.4 ; **28.** *Idem* (à hypersthène), Vohitsara, 'III.4.3.4 ; **29.** Diorite quartzique à facies diabasique, Ampontsiambo, II.4.'3.4 ; **30.** *Idem,* Vohiborimo, II.4'.2(3).4.

31. *Gabbro quartzique*, à hypersthène (facies malgachitique), Andreba, II.4.'4.(4)5 (M. Raoult).

a) *Diorite à hypersthène*, mont Zan (côte d'Ivoire), 'II.4.3.4 (Pisani, *in*. A. Lacroix, *C. Rendus*, t. CL, 1900, p. 18). A. *Gabbros quartziques* (hornblende), Balbonne (Ariège), II.4'.3'.4). B. (hornblende). La Parata (Corse), II.4.(3)(4).4(5) (M. Raoult).

	27	**28**	**29**	**30**	**31**	*a*	A	B
SiO^2. .	61,28	57,82	57,72	59,62	55,44	59,50	59,86	58,50
Al^2O^3. .	13,28	10,84	13,44	15,09	16,98	18,71	15,45	17,26
Fe^2O^3. .	5,15	5,92	3,80	2,30	4,05	2,32	1,00	4,01
FeO. . .	4,11	4,81	6,34	3,72	5,52	3,96	4,24	2,95
MgO. . .	2,64	7,08	2,44	2,30	3,61	3,49	5,72	2,15
CaO. . .	6,58	8,46	5,82	6,28	8,68	5,10	8,58	9,26
Na^2O. .	3,59	2,65	3,58	4,55	2,93	3,82	2,66	3,25
K^2O. .	1,66	1,32	1,55	2,14	0,58	1,18	1,69	0,66
TiO^2. .	0,98	0,61	2,27	1,11	1,59	1,68	0,48	1,04
P^2O^5. .	0,61	0,37	0,21	0,83	0,11	0,07	0,08	0,54
H^2O +. .	»	0,19	2,55	2,11	0,67	0,60	0,21	0,42
—. . .	0,24	0,09	0,46	0,20	0,13		0,11	0,15
	100,12	100,16	100,18	100,25	100,29	100,43	100,08	100,19
An %. . .	31	39	34	28	55	44	52	53

CHAPITRE II

PEGMATITES ET APLITES

I. — GÉNÉRALITÉS

Tous les types de granites décrits plus haut sont accompagnés de pegmatites, en relation minéralogique et génétique avec eux.

Les pegmatites ne sont pas seulement des granites à grands éléments ; elles sont aussi et surtout caractérisées par la présence et souvent l'abondance de composés borés, hydroxylés, fluorés, ou bien contenant des éléments rares qui n'existent qu'en infime proportion dans les granites eux-mêmes ou même qui en paraissent absents ; les pegmatites sont donc le lieu d'élection de nombreux minéraux intéressants. Leur abondance, leur variété constituent l'un des traits les plus frappants de la minéralogie de Madagascar.

Les pegmatites renferment de nombreux produits exploitables dont quelques-uns sont déjà exploités. A tous égards, il est donc naturel de donner ici un large développement à leur étude ; sauf exception, je ne reviendrai pas sur le détail des propriétés des minéraux qui les constituent ; on en trouvera la description dans la Deuxième Partie de cet ouvrage.

A. — *Composition et structure des pegmatites.*

a. — Composition minéralogique.

Au point de vue de la composition minéralogique, les pegmatites granitiques sont essentiellement constituées par deux minéraux, le quartz et un feldspath potassique qui est le microcline et moins souvent l'orthose ; la présence de l'un ou l'autre de ces feldspaths, de composition chimique semblable, mais de propriétés

physiques différentes, semble en relation avec les conditions de formation de la roche et je considère cette distinction comme suffisamment importante pour qu'on puisse s'en servir comme base de la classification que j'emploie plus loin. Ce feldspath potassique est très fréquemment accompagné par de l'albite ou par des plagioclases voisins de l'albite et, dans quelques cas seulement, par des plagioclases plus basiques. Cette particularité est la conséquence de variations de composition chimique de nature magmatique ; elle est accompagnée de variations minéralogiques plus importantes.

A ces minéraux constants, peuvent s'en ajouter beaucoup d'autres : micas, tourmalines, grenats, etc., qui arrivent parfois à jouer un rôle dans la constitution de la roche, puis la longue série des minéraux accessoires dont il va être question plus loin.

Quand les pegmatites sont à grain moyen, leur composition minéralogique est en général assez uniforme, mais lorsque leurs éléments sont de grande taille, elles présentent de nombreuses variations dans les proportions relatives de leurs constituants essentiels ; dans telle portion, le quartz peut dominer au point que sur un affleurement restreint, on pourrait se croire en présence d'un filon uniquement quartzeux, alors qu'ailleurs, c'est le feldspath dont la teneur s'exagère.

Les minéraux accessoires des pegmatites présentent dans leur nature et dans leur distribution des variations plus grandes encore que celles relevées pour les minéraux essentiels ; ils varient dans des filons rencontrés côte à côte, ils varient aussi dans les diverses parties d'un même filon. Bien souvent ces minéraux accessoires sont plus abondants dans les filons minces que dans les filons épais et il leur arrive d'être concentrés sur les bords de certains des uns et des autres.

α. — **État gemmiforme de beaucoup des minéraux des pegmatites.** — Les pegmatites malgaches présentent souvent une particularité remarquable qui leur donne un intérêt économique, aussi bien que scientifique. Un grand nombre de leurs minéraux, essentiels ou accessoires, qui, dans les pegmatites de l'Europe, se rencontrent avec les mêmes formes, mais toujours à l'état opaque, se trouvent à Madagascar, dans un état d'homogénéité et de transparence tel qu'ils constituent de véritables *gemmes*. Je veux parler du béryl, des tourmalines, des grenats, de la danburite, du diopside et même de l'orthose.

La première idée qui vient à l'esprit pour expliquer cette singularité consiste à la mettre sur le compte du climat tropical, qui exclue l'intervention d'alternances de gel et d'insolation, — agents de la désagrégation physique progressive si fréquente dans les roches des climats tempérés ou froids, — et lui substitue l'intense décomposition chimique latéritique qui sera discutée plus loin ; celle-ci est souvent

réalisée d'une façon si brutale aux dépens des roches silicatées alumineuses que, sur un espace d'un millimètre, on passe, sans intermédiaires, de la roche totalement transformée à la roche absolument intacte ; sous les climats tropicaux l'on trouve donc des roches plus fraîches que dans toutes autres régions.

Une telle opinion semble tout d'abord trouver un appui dans l'existence de gemmes analogues, dans des conditions identiques, au Brésil et à Ceylan.

Mais si l'on considère la distribution des gemmes à travers le monde, l'on s'aperçoit qu'une semblable interprétation n'est pas valable. Les gisements septentrionaux de pegmatites, en Sibérie, dans l'Oural, sur la côte Atlantique des États-Unis, renferment en effet des gemmes, aussi bien que les pegmatites de Madagascar. Peut-être pourrait-on penser tout d'abord que, pour eux, l'intervention des actions glaciaires soit entrée en ligne de compte, en conduisant, par un mécanisme différent, d'ordre physique, au résultat réalisé dans les pays tropicaux par une voie chimique. Les glaciers en effet rabotent la surface du sol, en enlevant toutes les portions désagrégées, au fur et à mesure de leur émiettement, et en mettant ainsi au jour des roches saines ; dans les gisements métallifères de Cobalt, dans l'Ontario, les filons de smaltite et d'argent natif sont à vif, avec une surface polie par la glace, sans qu'il y existe la moindre trace de ces minéraux oxydés qui, dans tant d'autres régions, forment un chapeau superficiel aux minéraux sulfurés ou arséniurés. Là encore une objection se dresse, dès que l'on compare les pegmatites de ces régions à celles de la Norvège et de la Finlande, où, malgré l'action si prolongée des anciens glaciers, comme dans les parties tempérées de l'Europe centrale et occidentale, les minéraux des pegmatites sont d'ordinaire fissurés et opaques. On y trouve, d'ailleurs, çà et là, comme dans le Limousin, des cristaux de béryl assez transparents pour pouvoir être utilisés dans la joaillerie.

Du reste cette transparence de certains minéraux des pegmatites existe dans la Caroline du Nord et en Californie, où ces roches n'ont été soumises ni à un climat tropical ni aux conséquences des grands froids ; cette même observation peut être appliquée aux gisements de l'Extrême-Sud de Madagascar qui se trouvent en dehors de la zone intertropicale.

Après avoir exposé ces réflexions, je dois reconnaître que je n'ai aucune hypothèse plausible à présenter pour expliquer ces faits intéressants qu'il m'a paru néanmoins utile de soumettre aux méditations des minéralogistes.

b. — Structure et grain.

La structure, c'est-à-dire la façon dont les minéraux de la roche s'agencent entre eux, et le grain, c'est-à-dire leurs dimensions, ne sont pas moins variables.

L'ordre de cristallisation des minéraux n'est pas constant ; ici le microcline est automorphe et ses cristaux sont moulés par le quartz, là l'inverse a lieu, à moins que la cristallisation des deux minéraux n'ait été simultanée et alors ils constituent une structure graphique qui, d'ailleurs, n'est qu'un accident local et ne s'observe jamais dans toute la masse d'un filon. Cette structure se voit nettement dans les échantillons d'une grande fraîcheur ; elle est rendue plus apparente peut-être, lorsque le feldspath est altéré et laisse en relief les cristaux de quartz aux formes cristallitiques (parois des ravins de Tsilaizina par exemple). Ces associations graphiques, dans lesquelles quelques lithologistes voient des mélanges eutectiques, ne sont pas particulières d'ailleurs au microcline et au quartz; il en existe aussi entre la muscovite et le quartz, la tourmaline (tome I, planche 20, fig. 8) et le quartz, le grenat et le quartz, la tourmaline et la lépidolite et on peut trouver plusieurs d'entre elles dans un même filon ; M. Edson S. Bastin qui a observé des faits analogues dans les pegmatites du Maine, s'en est servi[1] pour combattre l'hypothèse d'eutectiques.

Les pegmatites à grain moyen sont moins fréquentes que celles dont les éléments sont de grande taille ou même de dimensions gigantesques. Dans les pegmatites de Sahanivotry, les cristaux de microcline, de tourmaline, de quartz ont souvent plus d'un mètre de longueur. Les pegmatites d'Ampangabe et de Berere renferment des prismes de béryl atteignant plusieurs mètres.

Dans un même filon, le grain peut devenir brusquement très fin (vallée de la Sahatany) ; la pegmatite se transforme en une aplite ; cette modification dans la dimension des constituants est généralement accompagnée par une variation dans la composition minéralogique. Tandis que dans beaucoup de gisements étrangers, en Californie en particulier, et à Madagascar même pour les pegmatites à aegyrine, qui seront décrites plus loin, de telles associations de pegmatite et d'aplite dans un même filon sont réglées par une certaine symétrie, dans celles des pegmatites malgaches qui nous occupent, il n'existe pas en général de relation systématique de ce genre. Je citerai seulement le filon d'Andakana (Sud-Est de Tsaratanana) dont la partie centrale ($1^{m},50$) est formée par une pegmatite à énormes éléments, alors que les bords (1 mètre) sont symétriquement constitués par une pegmatite à muscovite à grain moyen.

α. **Cryptes à cristaux.** — Certaines pegmatites renferment des cavités drusiques : quelquefois de dimensions minimes, elles peuvent devenir énormes et constituer

1. Geology of the pegmatites and associated rocks of Maine. *U. S. Geol. Survey, Bull.* n° 445, 1911, p. 39.

alors de véritables *cryptes à cristaux* qui fournissent quelques-uns des plus beaux minéraux décrits dans ce livre.

Les alentours de ces cryptes et surtout les cristaux qui tapissent leurs parois représentent les derniers produits de la cristallisation de la roche et leur composition est souvent fort différente de celle de la masse même de la pegmatite ; ainsi qu'on va le voir plus loin, dans ces cryptes se trouvent fréquemment des minéraux contenant les éléments n'existant qu'en proportion infime dans le magma.

β. **Aplites.** — Les aplites qui forment quelquefois des filons indépendants, mais qui sont souvent si intimement associées à la pegmatite que l'on ne peut distinguer véritablement les deux roches au point de vue génétique, ont une composition généralement fort simple ; elles sont fréquemment réduites au quartz et aux feldspaths (microcline et albite) de la pegmatite, avec peu de minéraux accidentels, apatite, tourmaline, grenats, plus rarement micas.

La structure est granulitique, mais quand l'albite est abondante, ses cristaux sont fréquemment lamelleux suivant g^1 et le quartz les englobe à la façon du pyroxène dans le cas de la structure ophitique.

A Madagascar, ces roches aplitiques s'observent parfois sur la bordure des pegmatites ou bien sous la forme d'apophyses étroites dans les roches encaissantes.

γ. **Déformations mécaniques.** — *Déformations d'origine primaire.* — Les cristaux des cryptes présentent quelquefois des déformations mécaniques (torsion, rupture), qui ne peuvent guère être interprétées qu'en admettant qu'elles sont contemporaines de la genèse même de la roche. C'est ainsi par exemple qu'à Maharitra, j'ai observé des cristaux de tourmaline brisés et ressoudés par une nouvelle génération du même minéral (fig. 326, p. 420 du tome I). Ces phénomènes sont vraisemblablement, au moins en partie, contemporains de la phase pneumatolytique destructive (voir page 252).

Déformations d'origine tectonique. — Beaucoup plus importantes sont les déforformations dues à des phénomènes dynamiques, indépendants du mode de formation de la pegmatite ; elles ont d'ailleurs atteint toutes les roches du voisinage.

Ainsi l'examen optique du quartz montre l'extrême fréquence des phénomènes d'écrasement, même lorsqu'ils ne se traduisent par aucune déformation extérieure ; il n'en est pas toujours ainsi ; à Antandrokomby, par exemple, j'ai observé des cas où, à l'œil nu, on voit les anciens grands cristaux de quartz transformés en un amas saccharoïde de petits grains translucides.

A Anjanabonoina, des clivages d'amazonite, de plusieurs décimètres de côté,

présentent parfois, lorsqu'on les fait miroiter devant une lumière vive, non pas une surface plane et uniforme, mais une mosaïque due à des ruptures suivies de très petits déplacements des fragments brisés, puis ressoudés.

Les grandes dimensions et l'allongement des cristaux de certains minéraux sont favorables à la mise en évidence des déformations mécaniques ; ceux de tourmaline à Tsilaizina, Maharitra, Ambatolampy, ceux de béryl à Ambatolampy, et sur la Sahatorendrika, en particulier, sont parfois curieusement tordus en crosse ou en hélice ; la tourmaline de Tompobohitra présente des torsions encore plus compliquées. J'ai vu, dans les vallées de la Sahatany et de la Sahatorendrika des cristaux des mêmes minéraux rompus, et dont les fragments déplacés sont cimentés par du quartz ; plus rarement ils sont transformés en une véritable brèche (rubellite dans la vallée de la Sahatany).

Ces déformations atteignent non seulement les minéraux constitutifs de la pegmatite englobés dans le quartz ou les feldspaths, mais encore ceux des géodes que l'on trouve fréquemment brisés au fond des cavités et englobés dans de l'argile. Lorsque les pegmatites ont été soumises à des actions dynamiques intenses, les cavités qu'elles renferment ont donc été fort malmenées; on a vu tome I, page 204, que le même fait s'observe dans les géodes de quartz hyalin ; il est d'ailleurs commun à toutes les régions de roches anciennes. Cette particularité, jointe aux phénomènes de décomposition chimique postérieurs à ceux d'ordre dynamique, explique pourquoi il est si rare de pouvoir se procurer des cristaux géodiques des pegmatites malgaches implantés sur une gangue quelconque.

c. — Modes de gisement.

Dans toutes les régions à pegmatites, ces roches peuvent se présenter dans deux types de gisements.

On peut les rencontrer dans le granite lui-même, auquel elles sont liées génétiquement et alors, ou bien elles constituent de véritables filons, se distinguant nettement de la roche encaissante, ou bien elles forment des pseudo-filons, des taches, des amandes, au milieu du granite auquel elles passent d'une façon insensible; ce sont alors des remplissages d'étroites fissures de retrait par les fluides magmatiques qui ont d'abord déterminé une exagération locale du grain, bientôt accompagnée d'un changement de composition minéralogique. Il arrive même que ce type de pegmatite soit réduit à un simple glaçage de cristaux sur la paroi granitique ou qu'il se transforme en géodes, plus ou moins grandes, tapissées par les éléments constitutifs du granite : microcline, quartz supportant quelques minéraux accessoires (apatite, tourmaline, béryl, etc.) : les géodes à cristaux du

granite des environs d'Alençon (Pont-Percé), de Pontivy (Morbihan), de Batz (Loire-Inférieure), les cryptes du granite du mont Capanne à l'île d'Elbe, constituent des exemples de ces géodes localisées, tandis que le granite miarolitique des Mourne Mountains, en Irlande[1], représente le cas des géodes en quelque sorte diffusées dans toute la roche.

Un second groupe de gisement est caractérisé par des filons qui se trouvent, non plus dans le granite lui-même, mais dans les roches voisines et même souvent à une assez grande distance du granite.

A Madagascar, ces deux types de gisement sont réalisés et souvent à proximité l'un de l'autre ; la vallée de la Sahatany est tout à fait caractéristique pour l'étude de cette question, mais il semble que le cas le plus général, au moins pour les pegmatites intéressantes au point de vue minéralogique, est celui de la disposition en filons périphériques aux massifs granitiques.

d. — Mode de formation[2].

Il est peu de roches dont on ait plus discuté l'origine que les pegmatites. La connaissance de leur composition minéralogique et de leur structure, celle de leur mode de gisement apportent des renseignements très précieux sur les conditions dans lesquelles elles se sont produites : l'étude des gisements malgaches fournit à cet égard d'intéressants renseignements.

La formation des pegmatites continue de celle du granite, leur production par remplissage des fentes de celui-ci dans d'autres cas et aussi leur développement abondant dans les sédiments qui entourent les intrusions granitiques — enfin leur parenté de composition minéralogique avec le granite — démontrent que les pegmatites doivent être considérées comme le terme final de la consolidation des magmas granitiques.

D'une façon générale, un magma éruptif peut être considéré comme une solution complexe de silicates et de gaz[3] parmi lesquels prédomine l'eau — l'eau, au-dessus de la température critique de 365° C. se comportant comme un gaz —.

1. Les minéraux que l'on y rencontre sont tout d'abord ceux du granite lui-même : feldspath potassique, quartz enfumé, mica, puis d'autres espèces reposant sur les cristaux des précédents : albite, topaze, béryl, fluorine, cymophane, gadolinite ; le remplissage des cavités est parfois constitué par de la fayalite. J'ai jadis recueilli ce dernier minéral dans de véritables veinules de pegmatite.

2. Cf. l'historique et l'intéressante discussion donnée par M. W.-C. Brögger dans son ouvrage : Die Mineralien der Syenitpegmatitgänge der Sud-nordwegischer Augit-und Nephelin-Syenite. *Zeitschr. f. Kryst.*, t. XVI, 1890, p. 215. Cf. aussi Alfred Harker, *The natural history of igneous rocks*, p. 294.

3. Dans mon mémoire sur le granite des Pyrénées et ses phénomènes de contact (*Bull. Carte géol. France*, t. X, n° 64, 1898, p. 560), j'ai insisté sur le rôle que cette portion gazeuse du magma joue dans les transformations métamorphiques des contacts granitiques.

L'extraordinaire abondance des inclusions liquides dans le quartz des pegmatites (Cf. tome I, pl. 6, fig. 2) montre que l'eau, à laquelle on fait jouer un rôle si important dans la genèse de ces roches, n'est pas une simple conception de l'esprit.

Au fur et à mesure de la consolidation d'une partie du magma, sous forme de granite, le résidu non solidifié s'enrichit en produits gazeux contenant à l'état dissous toutes les substances solubles qui ne sont pas entrées dans la constitution du granite et parmi celles-là abondent[1] les ions monovalents : fluor, alcalis, avec en outre les métaux rares, le bore, le phosphore, le niobium, le tantale, le zirconium, etc. Peu à peu, quand la température s'abaisse, cette sorte d'eau mère fournit à son tour des cristallisations de minéraux, parmi lesquels dominent le quartz, les feldspaths alcalins, les micas et tous les minéraux spéciaux renfermant les substances qui viennent d'être énumérées. La disparition des minéralisateurs (agents pneumatolytiques) que libère cette consolidation, entraîne une diminution de volume, grâce à quoi peuvent se produire de petites druses ou de vastes cryptes à cristaux.

L'abondance des gaz et des sels dissous abaisse le point de fusion de ce résidu très aqueux du magma, elle le rend plus fluide, ce qui lui permet de s'injecter dans les fentes du granite et de pénétrer entre les feuillets et dans les fentes des sédiments, et cela souvent fort loin des massifs granitiques. Cette grande fluidité assurant la mobilité des molécules facilite en outre la cristallisation, elle permet la production de ces énormes cristaux qui caractérisent les pegmatites et aussi les concentrations locales de certains minéraux (muscovite, quartz, etc.) ; enfin elle facilite la cristallisation simultanée des minéraux constituant les associations graphiques.

Dans le cas des structures zonaires ou des cryptes. qui seront étudiées en détail plus loin, l'ordre de succession des minéraux paraît être celui de la solubilité croissante de leurs éléments. On voit souvent apparaître en dernier lieu et en petite quantité des espèces renfermant des éléments, le lithium, le césium et le rubidium par exemple, qui n'existent qu'en proportion infime dans le magma et qui ont pu se concentrer dans les dernières solutions. Lorsqu'il existe des cryptes, c'est dans celles-ci qu'ils se maintiennent le plus longtemps à l'état de dissolution et c'est à l'influence de tous ces produits dissous que sont dues les grandes dimensions prises par les minéraux constituant la bordure de ces cavités et par les minéraux qui les tapissent.

L'examen des propriétés du quartz permet d'apporter une approximation sur la

1. Cf. Arrhenius. *Geol. Fören. i Stockholm Förh.*, t. XXII, 1909, p. 395.

température[1] à laquelle se sont produites les pegmatites, puisqu'on peut démontrer que le quartz essentiel de la roche s'est formé au-dessus de 575° C. (sous la forme de quartz β, actuellement transformé en quartz α), alors que celui qui constitue le remplissage ultime des filons, ainsi que les cristaux des druses, a cristallisé au-dessous de cette température (quartz α) et peut-être à une température beaucoup plus basse.

A la suite de ces phénomènes de *pneumatolyse*, que j'appellerai *constructive*, et sans doute lorsque la température s'est encore abaissée, les minéraux formés à température plus élevée sont devenus instables et il s'est produit des phénomènes pneumatolytiques *destructeurs* dont je donnerai des exemples plus loin ; ils ont déterminé la corrosion de minéraux préexistants et la formation d'autres espèces à leurs dépens.

e. — **Classification des pegmatites malgaches.**

Deux grandes divisions, d'importance fort inégale, doivent être établies parmi les pegmatites malgaches.

La première, qui est caractérisée par la prédominance des feldspaths alcalins et souvent par l'absence totale des feldspaths calco-sodiques, joue le rôle principal et contient tous les minéraux d'intérêt économique.

La seconde, au contraire, renferme non seulement des feldspaths alcalins, mais encore une proportion importante de plagioclases.

II. — PEGMATITES ALCALINES.

Les pegmatites à feldspaths alcalins prédominants peuvent être divisées elles-mêmes en deux grands groupes suivant qu'elles renferment des pyroxènes ou des amphiboles sodiques ou qu'elles n'en contiennent pas.

Le premier groupe n'a pas été rencontré jusqu'ici dans le Massif cristallin ; la pegmatite de l'Imorona qui sera décrite page 381 me paraît en effet devoir être considérée comme syénitique plutôt que granitique ; elle présente d'ailleurs des analogies si grandes avec les véritables syénites du voisinage que je ne saurais

1. Cf. Wright F.-E. et Larsen E.-S. Quartz as a geologic thermometer. *Ann. J. of Sc.*, t. XXVIII, 1909, p. 423. Les observations faites sur les pegmatites malgaches confirment les observations de ces savants (Voir p. 260).

séparer leur étude. Nous trouverons des pegmatites granitiques de ce groupe en étudiant les roches post-liasiques de la province d'Ampasindava.

Le caractère différentiel qui me paraît le meilleur pour établir des divisions dans le second groupe de pegmatites alcalines, dans celui qui va être longuement étudié dans ce chapitre, repose sur la nature du feldspath potassique.

La grande majorité des pegmatites alcalines malgaches, celles qui, à quelques exceptions près, offrent le plus d'intérêt scientifique et économique, sont caractérisées par la présence du *microcline* ; une seconde division d'intérêt surtout minéralogique, comprend les pegmatites à *orthose*.

A. — *Pegmatites à microcline.*

a. — Classification.

Ces pegmatites doivent être à leur tour divisées en deux groupes :

1° Les *pegmatites potassiques,* dans lesquelles le feldspath exclusif ou dominant est du microcline accompagné d'ordinaire par une petite quantité d'albite (le plus souvent incluse dans le microcline à l'état de microperthite), avec une proportion très faible ou nulle de véritable feldspath calcosodique. Toutefois je donne cette dernière caractéristique avec quelque réserve ; des types analogues se trouvent en Norvège, dans lesquels existent des plagioclases allant jusqu'à l'andésine, mais à Madagascar, le nombre des gisements dont il m'a été possible d'étudier les feldspaths n'est pas grand ; dans beaucoup de ceux qui vont être passés en revue plus loin, en effet, les feldspaths sont complètement décomposés et seuls les minéraux inattaquables ont pu être étudiés.

Lorsque dans ces pegmatites il existe des micas, ceux-ci consistent en muscovite et en biotite ; la tourmaline est noire et appartient au type ferrifère ; le grenat est l'almandin-spessartite ou l'almandin. D'une façon générale, dans tous les minéraux de ces roches, le fer l'emporte sur le manganèse.

2° Les *pegmatites sodo-lithiques* sont caractérisées par l'abondance de l'albite qui, d'une façon constante, accompagne le microcline, non pas seulement à l'état de microperthite, mais encore sous forme de cristaux indépendants.

Les micas ne sont pas constants ; lorsqu'ils existent, ils sont surtout lithiques. Les tourmalines constituent un minéral constant et caractéristique ; elles sont en partie ferrifères (non magnésiennes), et en partie lithiques ou exclusivement lithiques. Le grenat est la spessartite pure. Nombreux sont les minéraux accessoires renfermant du lithium et du césium. Dans beaucoup de minéraux, le manganèse est abondant et souvent plus abondant que le fer.

Avant d'aborder l'étude particulière de ces deux groupes de pegmatite et de leurs gisements, je résumerai dans le tableau suivant une vue d'ensemble de tous les minéraux que j'ai observés dans chacun d'entre eux.

	PEGMATITES	
	POTASSIQUES	SODO-LITHIQUES
Quartz	[1] Gris, blanc, enfumé, rose.	[1] Gris, blanc, enfumé.
Feldspaths	[1] Microcline blanc ou vert (amazonite). [1] Albite.	[1] Microcline blanc ou vert (amazonite). [1] Albite.
Micas	Biotite.	Biotite. [Muscovite lithique]. [1] Lépidolite. Zinnwaldite.
Tourmalines	[1] Ferrifères.	[1] Ferrifères. [1] Lithiques (polychromes).
Grenats	Almandin. Almandin-spessartite.	 [1] Spessartite.
Silicates accessoires	[1] Béryl léger (incolore, vert, bleu, rarement rose).	Béryl léger (rose, rarement bleu ou vert). [1] Béryl dense (rose rarement vert). [1] Triphane (kunzite). [1] Danburite. [2] Bityite. [2] Manandonite.
	Topaze. Orthite. [Scapolite]. [Thortveitite]. Sphène. Tscheffkinite.	 [2] Palygorskite.
Niobates (tantalates, titanates)	Columbite.	[Columbite]. [Manganocolumbite].
	Fergusonite. Samarskite. Ampangabéite. Euxénite. Priorite. Betafite. Samiresite. Blomstrandite.	 [Euxénite]. Blomstrandite.
Phosphates	Apatite. Monazite. Xénotime ?	Apatite. Apatite manganésifère.

1. Minéraux se trouvant à la fois comme éléments de la pegmatite et dans ses cryptes.
2. Minéraux ne se trouvant que dans les cryptes.
[ ]. Minéraux connus dans un seul gisement.

	POTASSIQUES	SODO-LITHIQUES
Borates		[2] Hambergite. Rhodizite.
Oxydes	[Rutile]. Ilmenorutile, strüvérite. Zircon. Malacon. Uranothorite. Orangite. [Thorianite]. Crichtonite (ilménite). Hématite.	
Aluminates	[Gahnite]. Cymophane.	
Ferrites	Magnétite.	Magnétite.
Fluorures	[Fluorine].	
Carbonates		[Calcite].
Corps simples	[Or]. Bismuth. Graphite.	 Bismuth.
Sulfures	Bismuthinite. Molybdénite. Pyrite. Pyrrhotite. Chalcosite.	
Sulfosels	Erubescite. Chalcopyrite. [Cosalite].	
Minéraux secondaires	Autunite. Bismuthosphérite. Puchérite. Pyromorphite. Hématite (martite). Rutile. Malachite. Limonite et stilpnosidérite. Psilomélane. Opale. Quartz. Calcédoine. Hydrargillite. Alumogels. Kaolinite. Argiles.	Autunite. Bismuthosphérite. Psilomélane. Quartz. Calcédoine. Hydrargillite. Alumogels. Kaolinite. Argiles.
Minéraux d'origine endomorphe [1]	Grossulaire. Corindon. Pléonaste. Sillimanite. Disthène.	Grossulaire. Hudsonite. Trémolite-Actinote. Calcite.

1. Peut-être aussi la scapolite citée plus haut.

α. **Phénomènes d'altération**[1]. — Il existe un petit nombre de gisements dans lesquels les pegmatites sont tout à fait intactes (Antsongombato, Manjaka, Antandrokomby, etc.), mais le plus généralement l'altération est profonde aux affleurements et, comme je l'ai fait remarquer plus haut, certains seulement de leurs minéraux ont subsisté ; il est donc nécessaire, sans empiéter sur le chapitre consacré à l'étude des altérations des roches, d'indiquer ce que deviennent, dans ces cas si fréquents, les principaux des minéraux qui vont être décrits dans les divers gisements de pegmatites. Il est assez troublant de constater que dans quelques-uns d'entre eux, tels que Tsilaizina, on trouve, à peu de distance les uns des autres, des filons de pegmatite d'une fraîcheur parfaite à côté d'autres profondément transformés.

Destruction chimique. — L'altération des pegmatites consiste essentiellement dans la décomposition de leurs feldspaths, soit en hydrargillite (*latérite*), soit en silicates d'alumine (kaolinite, halloysite), plus ou moins accompagnés d'alumogels (kaolins et argiles *latéritiques*), soit enfin en opale ou calcédoine. Comme cette altération est souvent complète, il en résulte une certaine incertitude sur la composition initiale de beaucoup de roches et celle-ci ne peut être reconstituée que par analogie.

Il est d'autres minéraux qui se détruisent parfois, mais qui se présentent toujours dépourvus de produits intermédiaires entre l'état pur et le résultat ultime de leur destruction, de telle sorte que ceux de leurs fragments qui ont résisté à la destruction se présentent dans un état de pureté parfaite.

Tel est le cas des *grenats* ; l'almandin se ternit et se transforme peu à peu en limonite, d'un jaune plus ou moins foncé, tachée de noir quand le grenat appartient à la variété almandin-spessartite. La spessartite, elle, se décompose en psilomélane, à cassure parfois luisante et à reflets métalliques qui va, en outre, se déposer dans les fissures de tous les minéraux voisins.

Hydratation et modification chimique partielle. — A côté de ces minéraux à transformation totale, il en est d'autres qui s'hydratent seulement, s'oxydent ou abandonnent quelques-uns de leurs éléments. Tel est le cas de la *biotite* dont les clivages deviennent ternes et perdent leur élasticité, en même temps que de l'eau est fixée, que les alcalis disparaissent et que le fer s'oxyde.

L'*orthite* et les *titanoniobates d'uranium et d'yttrium*, eux aussi, s'hydratent ; ils perdent leur biréfringence ; leur dureté et leur densité s'abaissent, en même temps que s'évanouit leur résistance à l'action des acides. Cette altération libère parfois de l'uranium, qui va se fixer dans les fentes de la pegmatite, sous forme de paillettes d'autunite. Leur radioactivité s'abaisse.

1. Je veux dire d'altération due à l'action de l'atmosphère ou de circulations d'eau superficielle.

Le béryl est souvent opaque ou fendillé, mais il renferme des portions transparentes qui sont celles que l'on exploite. Dans quelques gisements, se voient des cristaux homogènes à surface lisse et brillante, très corrodée; quand on les recueille en place, on s'aperçoit qu'ils sont les restes de cristaux plus gros ayant subi une kaolinisation, comparable à celle observée dans le béryl transparent des pegmatites du Limousin. On a vu, tome I, page 520, que c'est à un mode d'altération analogue qu'est dû ce fait que le triphane transparent (kunzite) est recueilli en fragments dépourvus de formes cristallines autres que des clivages dont la surface est profondément corrodée. Les cristaux de scapolite, de topaze, présentent des particularités du même ordre.

La danburite se transforme d'une façon analogue, mais au lieu de disparaître peu à peu par la périphérie, ses cristaux sont corrodés à partir de leur sommet.

Les *minerais* sont altérables entre tous. La magnétite s'oxyde et se transforme en martite ; les fers titanés en rutile ; la pyrite est épigénisée par de la limonite.

Le sphène se transforme en argile dans laquelle l'acide titanique reste à l'état colloïde ou cristallise sous forme de rutile.

Le bismuth natif quelquefois, la bismuthinite toujours se transforment en bismuthosphérite, çà et et là accompagnée de puchérite. Enfin la galène donne naissance à de la pyromorphite.

Résistance de certains minéraux. — Par contre, il est certains minéraux des pegmatites qui offrent une grande résistance aux phénomènes d'altération auxquels sont dues la destruction et la modification des espèces passées en revue plus haut.

Le quartz, l'apatite, la rhodizite, la hambergite, la muscovite, les micas lithiques, la columbite, l'ilmenorutile-strüvérite, la cymophane, la gahnite, la thortveitite sont toujours intacts ou ne sont que corrodés superficiellement.

Il en est de même pour les tourmalines, mais, dans certains gisements, leurs cristaux sont fissurés, aussi leurs débris sont-ils alors extraits en fragments anguleux de la pegmatite altérée ou de ses alluvions.

b. — **Pegmatites potassiques.**

1° Généralités.

Pegmatites banales. — Ces pegmatites sont les plus communes ; quelquefois elles sont réduites à leurs deux éléments essentiels, le quartz et le microcline blanc, rosé ou rougeâtre, quelquefois vert (*amazonite*), à structure microscopique quadrillée, généralement associé en microperthite avec l'albite. Parfois (Ambohibe)

les macles sont si fines que le minéral semble homogène. Le quartz et le microcline présentent entre eux de fréquentes associations graphiques.

Les feldspaths de ces pegmatites sont trop rarement frais pour que j'aie pu entreprendre l'étude chimique des proportions relatives du quartz et du microcline dans ces associations graphiques, mais leur examen physique conduit aux mêmes conclusions que celles formulées par M. Bastin[1] et par M. Mäkinen[2] au sujet de la variabilité de ces proportions[3].

Des minéraux accessoires peuvent apparaître : biotite, muscovite, tourmaline noire, almandin, apatite ; quand ils sont peu abondants et ne sont accompagnés d'aucun autre minéral, ils constituent un type lithologique banal, semblable à celui de tous les pays du monde et qui, à Madagascar, abonde dans toutes les parties du Massif cristallin sans exception, aussi serait-il oiseux d'insister sur lui et d'en donner des listes de gisement.

Pegmatites gemmifères et pegmatites à minéraux radioactifs. — Mais dans un grand nombre de régions ce type banal se transforme, grâce au développement pris par la biotite, la muscovite ou la tourmaline, soit seules, soit associées. En général, il semble exister un certain antagonisme entre la biotite et la tourmaline, l'un de ces minéraux disparaissant d'ordinaire quand l'autre devient prédominant.

La tourmaline, qui forme souvent de fort beaux cristaux, a tendance à se concentrer, avec apatite, dans des portions très quartzeuses, qui passent à de véritables filons de quartz ; ceux-ci se rencontrent quelquefois dans les pegmatites elles-mêmes pauvres en tourmaline.

A ces minéraux essentiels, viennent très souvent s'ajouter le *béryl* et des *minéraux radioactifs* qui donnent alors à la pegmatite un intérêt, à la fois minéralogique

1. Edson S. Bastin. Geology of the pegmatites and associated rocks of Maine. *U. S. Geol. Survey. Bull.* n° 445, 1911, p. 40.

2. E.-E. Eero Mäkinen. Die Granitpegmatite von Tammela in Finnland und ihre Minerale. *Bull. Comm. géol. de Finlande*, n° 35, 1913.

3. Depuis que J.-H. Vogt a proposé de considérer la pegmatite graphique comme un eutectique, beaucoup de discussions ont eu lieu sur cette question et tout récemment, en particulier M. Bastin et M. Mäkinen ont apporté d'intéressantes réflexions sur ce sujet.

L'étude des pegmatites malgaches ne fournit pas de particulières clartés à cet égard. Je ferai remarquer seulement qu'un certain nombre de points paraissent bien établis : 1° les associations graphiques de quartz et de microcline n'ont pas une composition constante ; 2° elles ne constituent pas nécessairement le résultat final de la cristallisation de la roche et c'est notamment le cas dans les pegmatites sodo-lithiques qui seront étudiées plus loin dont toute la phase drusique, y compris l'entourage des cryptes, est certainement postérieure à la production des portions graphitiques de la roche. Enfin, 3° il ne paraît pas légitime de baser un raisonnement sur la composition actuelle des associations graphiques, puisqu'au moment de leur cristallisation, il y avait en présence, non seulement cette portion silicatée, mais encore les gaz et la vapeur d'eau dont la quantité et même la qualité nous échappe. Nous revenons ainsi à la conception, dont il a été parlé plus loin, et que j'ai développée, il y a vingt ans, au sujet du métamorphisme endomorphe du granite. La question n'est donc pas au point et ne peut être résolue d'une façon définitive dans l'état actuel de nos connaissances.

et économique. Ce sont surtout ces pegmatites gemmifères et uranifères qui vont m'occuper dans les pages qui suivent.

Pegmatites à béryl et pegmatites à minéraux uranifères.

Actuellement, les gisements connus de ces pegmatites sont assez localisés dans certaines régions du Massif cristallin, mais les découvertes qui se précipitent, à mesure que l'exploration de l'île se développe, démontrent que cette localisation n'est qu'apparente et qu'avec les progrès de la colonisation, le nombre et l'extension géographique de ces pegmatites sont destinés à s'étendre beaucoup.

Les pegmatites à béryl appartiennent aussi bien aux types riches en muscovite, à tourmaline rare ou absente qu'aux types riches en tourmaline, pauvres en muscovite ou privés de ce minéral ou enfin aux types renfermant ces deux minéraux. La biotite existe souvent en petite quantité.

Parmi les gisements qui seront plus particulièremeut étudiés plus loin, ceux d'Ampangabe, d'Ambatofotsikely, des régions d'Ankazobe et de Tsaratanana peuvent être pris comme exemples de la pegmatite à muscovite. Celui de Tongafeno, comme exemple du type exclusivement tourmalinifère. Les gisements de Berere et de l'Antsihanaka constituent de bons exemples du cas où tourmaline et muscovite sont associées. Il existe du reste tant de passages entre ces divers types qu'il ne me paraît pas utile d'insister davantage sur ces divisions.

Le *béryl* appartient toujours au type de faible densité[1] : ses prismes hexagonaux sont donc très allongés suivant l'axe vertical ; ses couleurs dominantes sont le bleu et le vert, bien que les autres couleurs ne soient pas absentes. Ses cristaux sont généralement de grande taille, certains ont même plusieurs mètres de longueur ; ils se trouvent par suite surtout dans les pegmatites à très grands éléments.

Le quartz, généralement riche en inclusions liquides à bulle, qui accompagne le béryl est souvent d'un beau rose aux affleurements, mais il devient gris en profondeur ; il constitue l'un des indicateurs les plus précieux pour les prospecteurs, car, mis en liberté par la décomposition des feldspaths, il est très apparent sur les affleurements et, comme je l'ai fait remarquer plus haut, il donne souvent l'illusion de filons uniquement quartzeux.

Conformément aux observations faites par M. Bastin sur les pegmatites du Maine et par M. Mäkinen sur celles de Tammela, en Finlande, des plaques taillées perpendiculairement à l'axe vertical dans les pegmatites malgaches montrent que le quartz gris englobant les micas, la tourmaline, le microcline, ainsi

1 Cf. tome I, p. 545.

que celui de la pegmatite graphique a été originellement constitué par la forme β et a cristallisé par suite *au-dessus* de 575° C., tandis que le quartz rose et les cristaux nets des druses ont cristallisé *au-dessous* de cette température (quartz α). Le quartz rose est généralement concentré dans l'axe des filons dont il constitue le remplissage ultime. Il se décolore à la longue par exposition au soleil et cela est probablement explicable par les expériences de Doelter qui ont montré sa décoloration par les rayons ultraviolets. Par contre, il se colore d'une façon plus intense sous l'influence des sels de radium, puis prend une couleur noire. On sait que le quartz enfumé décoloré par la chaleur reprend sa coloration par exposition aux rayons du radium ; sans doute faut-il rapprocher de ces expériences ce fait qu'à Madagascar le quartz qui enveloppe les minéraux radio-actifs n'est jamais rose, mais toujours enfumé.

Lorsqu'il existe du *grenat*, celui-ci est plus souvent constitué par l'*almandin-spessartite* que par l'*almandin* pur ; le trapézoèdre a^2 est la forme dominante.

La *monazite*, l'*ilmenorutile* et la *strüvérite*, accompagnent très fréquemment le béryl et il en est de même pour la *columbite* et pour les niobates et titano-niobates uranifères et yttrifères, mais le gisement principal de ces derniers ne se trouve pas dans les pegmatites très riches en béryl, ils abondent surtout dans celles qui sont pauvres en ce minéral et particulièrement dans les pegmatites à biotite dépourvues à la fois de muscovite et de tourmaline. Dans ces minéraux, où le niobium et le tantale sont associés, c'est toujours le premier qui domine sur le second : on trouve donc à Madagascar la *columbite* et la *samarskite* et non point la tantalite et l'yttrotantalite.

Les titano-niobo-tantalates, souvent concentrés avec les micas, peuvent être rangés en deux groupes, qui, sans s'exclure dans un même gisement, sont souvent rencontrés, au moins dans les cas où ils sont abondants, dans des filons distincts ; d'une part les minéraux orthorhombiques riches en yttrium et souvent aussi en uranium (*euxénite, priorite, samarskite, ampangabéite*) ou quadratique (*fergusonite*) et d'une autre les titano-niobates cubiques, surtout uranifères, la *betafite* et ses variétés : c'est ce dernier groupe qui est particulièrement abondant dans les pegmatites à biotite. Ces divers minéraux renferment presque toujours peu ou prou de thorium et, même dans des cas exceptionnels, ils sont associés à l'*orangite* ou à l'*uranothorite* (Fiadanana, Befanala) ; il est probable que c'est aussi d'une pegmatite potassique que provient la *thorianite* recueillie seulement dans des éluvions. Enfin, le *malacon* accompagne fréquemment ces mêmes minéraux et particulièrement la betafite.

Les minéraux uranifères sont assez souvent associés à de très gros cristaux de *bismuthinite* ou à des cristaux de *bismuth natif* de moindres dimensions. Le premier

de ces minéraux toujours, le second quelquefois sont transformés en bismuthosphérite[1]. Il faut remarquer que le bismuth, le bismuthinite, comme aussi la pyrite, ne sont point des minéraux formés par pneumatolyse à une période tardive de l'histoire de la pegmatite : ils sont d'origine magmatique et de formation ancienne, ils enveloppent parfois le béryl et la muscovite ; ils sont aussi englobés par eux.

Enfin, il me reste à signaler une série de minéraux intéressants, tels que l'*orthite* et la *cymophane* qui ne se trouvent que dans un petit nombre de gisements et aussi d'autres, la *gahnite*, la *thortveitite*, la *scapolite* qui n'ont été observés jusqu'ici que dans une seule localité.

Il est à noter l'absence, jusqu'ici constatée, dans ces pegmatites riches en uranium des minéraux du groupe de l'uraninite et aussi celle de la gadolinite [$(SiO^4Gl)(Y.O)^2Fe$], malgré l'abondance d'autres minéraux renfermant du glucinium et de l'yttrium.

Ordre de cristallisation. — Il est difficile de préciser l'ordre de cristallisation de chacun des minéraux qui viennent d'être passés en revue, d'une part parce qu'il n'est pas absolument constant, et de l'autre parce que beaucoup d'entre eux n'ont été recueillis que dans des éluvions et par suite séparés de leurs associations naturelles.

Voici seulement les conclusions que je crois justifiées.

Apatite. Monazite.				
Béryl.				
			Zircon.	Niobates autres
Grenat.	Bismuth.			que betafite.
	Bismuthinite.			Ilmenorutile-
Tourmaline.	Pyrite.	Betafite.		strüvérite.
Biotite.			Cymophane.	
Muscovite.				
Albite.				
Microcline.				
Quartz.				

On trouvera dans le tableau des pages 254-255 l'énumération complète des minéraux que j'ai observés dans ce type de pegmatite malgache.

α. **Concentrations de certains minéraux.** — On vient de voir que l'une des caractéristiques des pegmatites malgaches réside dans l'inégale distribution de leurs minéraux essentiels (quartz, feldspath) ou accessoires ; ces derniers forment

1. La bismuthinite est connue dans les pegmatites du Sud de la Norvège, de Haddam (Connecticut), de certains gisements du Canada ; le bismuth natif se rencontre dans celles du Sud de la Norvège, du Brésil ; il est associé aussi au béryl d'Adun Tschilon, en Transbaïkalie.

parfois des concentrations importantes qui ont été surtout remarquées lorsqu'elles sont constituées par un minéral ayant un intérêt économique.

Tel est le cas des pegmatites d'Ambatofotsy présentant les concentrations de betafite dont il a été question page 132. J'ai observé un fait analogue pour l'ilmenorutile-strüvérite et l'ampangabéite à Ampangabe.

Mais ce phénomène est surtout remarquable pour la muscovite. Dans tous les gisements qui, dans l'énumération géographique donnée plus haut et plus loin, sont indiqués comme ayant été prospectés ou explorés pour les grandes lames de muscovite, celles-ci qui atteignent parfois un mètre de diamètre, forment des agglomérations irrégulières de plusieurs mètres cubes, dans lesquelles elles existent seules ou bien sont accompagnées de biotite ou de quelques autres minéraux. Je citerai comme exemples les plus typiques : Ambatofotsikely et la région du lac Alaotra (Andreba et Andilana). Ce sont ces concentrations de muscovite qui fournissent tout ce qui est exporté en fait de mica transparent (voir page 145).

β. **Cryptes à cristaux.** — Les pegmatites potassiques renferment quelques cas de cryptes à cristaux, mais comme ces roches sont fréquemment très altérées, l'existence de cryptes ne peut généralement être démontrée que par la présence de cristaux isolés à faces brillantes dans la terre rouge [1], de telle sorte que l'étude de ces cryptes est moins complète que celle des pegmatites sodo-lithiques. Voici quelques indications que j'ai recueillies à cet égard.

Il est à remarquer que les cristaux de quartz des cryptes des pegmatites potassiques, offrent généralement des formes cristallitiques ; ils ont des faces creuses ou se groupent en grand nombre à axes parallèles et présentent toutes les catégories d'association d'améthyste et de quartz blanc décrites et figurées dans la planche 4 du tome I. Les formes sont généralement simples et les faces hémiédriques souvent absentes ; néanmoins il est possible de démontrer que ce quartz appartient à la variété α, ce qui indique que la cristallisation des minéraux de ces druses s'est effectuée au-dessous de la température critique de 575° C.

Aux environs d'Ambohibe, au Sud de Betafo, ont été rencontrées dans une pegmatite très quartzeuse de grandes cavités que tapissaient de beaux cristaux de microcline jaunâtre et d'améthyste.

A Tongafeno, ont été recueillis de beaux cristaux de quartz et de tourmaline

1. Quand une pegmatite a subi cette transformation, elle diminue de volume et se tasse, il en résulte l'effondrement des cryptes dont les cristaux sont ensevelis dans les déblais ; il ne faut pas confondre ce cas avec celui où ils sont englobés dans de l'halloysite dans la cavité à peu près intacte.

noir, mais saupoudrés de lamelles de muscovite et supportant des cristaux de quartz, des cristaux de microcline recouverts de quartz et quelques béryls à faces brillantes.

Le béryl a été trouvé dans les mêmes conditions à Sahanivotry, en gros cristaux qui présentent les curieuses corrosions décrites page 533 et représentées dans la planche 25 du tome I. J'ai montré que la présence de paillettes de muscovite sur les portions corrodées est certainement due à des actions pneumatolytiques datant de la fin de la cristallisation de la roche, mais le fait que de semblables cryptes n'ont pu être étudiées en place, explique peut-être pourquoi l'on ne connaît jusqu'ici à Madagascar aucun minéral glucinifère formé aux dépens du béryl, alors que ce minéral est si abondant ; il est bien vraisemblable que la *bertrandite*[1], en particulier, sera, tôt ou tard, rencontrée dans de semblables conditions.

Deux gisements, le mont Bemainandro et Mahabe près Andriamena, ont fourni de fort beaux cristaux, certainement d'origine drusique, de topaze, associés, dans ce dernier gisement, à de gros prismes de quartz à faces creuses. C'est là encore la preuve de l'existence de cryptes dans des pegmatites potassiques.

Jusqu'ici, je n'ai fait allusion à aucun feldspath autre que le microcline ; mais par analogie avec ce qui est connu dans toutes les régions où des cryptes ont été observées dans des pegmatites, il est vraisemblable que celles des pegmatites malgaches doivent renfermer de l'albite et cette opinion peut trouver un commencement de preuve dans un échantillon recueilli isolé dans la terre rouge, au Sud de la Manandona près d'Antandrokomby ; il consiste en cristaux crêtés[2] d'albite et de quartz supportant de petites baguettes de tourmaline noire, des lames de muscovite et un cristal de béryl rosé. Je viens de recevoir d'Andreba un échantillon qui permet d'interpréter les cristaux transparents d'*orthose* à plans de séparation faciles suivant $a^{1/8}$ que j'ai signalés à la page 558 (note 1) du tome I; cette orthose est de formation pneumatolytique dans des cryptes. Les cristaux sont orientés géométriquement sur le microcline dont les faces sont, dans les géodes, garnies d'un glaçage d'orthose limpide, rappelant celui d'albite des cristaux de microcline des pegmatites sodo-lithiques. C'est là une véritable formation d'*adulaire*, effectuée vraisemblablement à une température inférieure à celle des autres minéraux des géodes de pegmatites[3].

1. Connaissant la *bertrandite* du Mont Antero (Colorado) et celle du Maine, ainsi que la *phénacite* du premier de ces gisements, j'ai cherché ces minéraux avec soin, mais sans succès.

2. L'albite des géodes des pegmatites est généralement constituée par des cristaux très aplatis suivant g^1 (010) et groupés régulièrement à la façon des feuillets d'un livre entr'ouvert, ou bien enchevêtrés pour former des agrégats globuleux.

3. M. Kœnigsberger a déduit d'expériences que cette température est inférieure à 320° C.

Dans les pegmatites potassiques, les fissures tapissées seulement par des cristaux de quartz paraissent être plus fréquentes que les cryptes véritables ; on les rencontre dans un très grand nombre de gisements ; généralement ce quartz est plus ou moins violet ; et c'est là le gisement principal de l'améthyste à Madagascar ; ses cristaux sont fréquemment cristallitiques et associés à des cristaux blancs ou incolores de quartz (quartz sceptre, etc.).

A Fiadanana, certaines fissures ne renferment que l'améthyste, alors que d'autres contiennent du quartz un peu enfumé, des cristaux d'hématite, de rutile et de sphène.

γ. **Filons de quartz en relation avec les pegmatites.** — On vient de voir que certaines pegmatites sont extrêmement quartzeuses et qu'aux affleurements les accumulations de quartz rose provenant de leur désagrégation font penser parfois à des filons uniquement quartzeux ; il existe réellement de tels filons, constituant soit des apophyses des pegmatites normales, soit des corps géologiques distincts de celles-ci, mais dont la parenté est affirmée par l'existence de quelques cristaux plus ou moins clairsemés des éléments constitutifs des pegmatites : feldspaths, muscovite et surtout tourmaline. Ce fait est connu dans tous les pays à pegmatites, mais ce qui est particulièrement caractéristique de Madagascar c'est que souvent le quartz de ces filons, au lieu d'être opaque ou translucide, comme cela est généralement le cas partout ailleurs, est parfaitement limpide et fournit une partie des énormes blocs de quartz hyalin dépourvus de formes, transparents comme du verre qui, depuis si longtemps, ont appelé sur Madagascar l'attention des minéralogistes.

Filons de quartz à tourmaline. — La tourmaline de ces filons est généralement noire et filiforme suivant l'axe vertical ; voici quelques exemples de gisements caractéristiques : Environs d'Ambatofangehana, Mont Ambohitromby à l'Ouest de Talata, dans le bassin de la Mania ; Betaimby sur la Mandraty ; la région d'Ampanihy (à Ambalatsiefa, le quartz est rose, ce qui est exceptionnel, le quartz de ces filons étant en général incolore ou gris de fumée). Comme exemple de quartz parfaitement limpide englobant des aiguilles de tourmaline, je citerai les environs de Mangily, de Miakanjovato, le mont Ankatsakafobe, etc.

Je ne connais qu'un seul cas dans lequel la tourmaline de ces filons de quartz n'est pas noire ; entre la Mahasoa et le Mangoky, à l'Est de Beroso, des calcaires cristallins sont traversés par un filon de quartz, coloré en jaune foncé par de petites aiguilles de tourmaline d'un brun clair, presque incolores en lames minces.

Il est intéressant de signaler que parfois des filonnets ou des taches de quartz à tourmaline sont associés à des pegmatites qui ne renferment pas ce minéral [Ampangabe, Miakanjovato (tourmaline en très gros cristaux)].

Tourmalinites. — La tourmaline devient parfois tellement abondante que le quartz n'est plus qu'accessoire ou même disparaît et, dans ce cas, tantôt la tourmaline constitue de longues aiguilles groupées à axes parallèles pour former des agrégats fibreux à éclat soyeux et tantôt se présente en cristaux très petits, enchevêtrés, de telle sorte que la *tourmalinite* résultante prend l'apparence d'une matière noire, à aspect charbonneux, qui s'émiette parfois sous la pression du doigt, surtout lorsqu'elle a été déformée par actions mécaniques. Voici quelques exemples à signaler : Mont Bity ; régions de Betroka et de Benenitra ; dans l'Extrême Sud, les environs d'Ampotaka, Kokomba, etc.

Filons de quartz à aiguilles de rutile. — C'est à la même origine qu'il faut rapporter le blocs de quartz hyalin renfermant les longues aiguilles de rutile (cheveux de Vénus) ; je ne connais pas de gisements où on les ait vus en place ; tous les échantillons que j'ai examinés ont été recueillis dans la terre rouge, mais l'un d'eux provenant des environs de Midongy de l'Ouest, que je dois à M. Battini, est démonstratif à cet égard. A l'une des extrémités, il est coloré en noir par de nombreuses aiguilles filiformes de tourmaline, celles-ci disparaissent au voisinage d'une géode, sur le bord de laquelle le quartz prend des formes géométriques et se charge d'aiguilles de rutile à éclat doré.

Filons de quartz à muscovite. — Beaucoup moins abondants que les précédents sont les filonnets de quartz renfermant, non plus de la tourmaline, mais de la muscovite. J'en ai rencontré au milieu des quartzites des Monts Olotsingy et Bity. Le quartz est opalescent ou blanc laiteux. Voir tome I, page 203, pour les veinules de quartz à biotite de Mandro.

Filons de quartz à hématite. — Il n'est guère douteux qu'au point de vue génétique il ne faille également associer aux pegmatites les filons de quartz riches en grandes lames gondolées d'hématite qui ne sont pas rares dans le Massif cristallin. Dans certains cas, comme dans la région de Maevatanana, à Betaimby par exemple, on les voit accompagner des pegmatites contenant elles-mêmes l'hématite sous la même forme.

Veinules de quartz aurifère intercalées dans les schistes cristallins. — On a vu page 23, que je rapproche, au point de vue génétique, du magma granitique les veinules quartzeuses aurifères interstratifiées dans les schistes cristallins et qui, dans de nombreux gisements, renferment certains minéraux caractéristiques de celui-ci, tels que la tourmaline.

Filons de quartz hyalin pur. — Enfin, il me reste à signaler le cas de filons

uniquement constitués par du quartz hyalin[1]. J'en ai vu un exemple à Ampangabe [63] ; au voisinage de la pegmatite, des travaux effectués pour une adduction d'eau ont mis à découvert dans les schistes granitisés, un filonnet de quartz parfaitement limpide ; çà et là, il renferme des cavités tapissées par des figures de corrosion en relief semblables à celles dont il est question tome I, page 202.

La limpidité de ce quartz et de tous les échantillons semblables est due à ce qu'il est constitué par l'enchevêtrement d'énormes cristaux ne laissant voir aucune limite entre eux et n'ayant pas été déformés par action mécanique. Cette structure est évidente à l'œil nu dans le quartz rosé constituant des filons des environs d'Imerimandroso (Cf. tome I, page 203), grâce à la structure zonée de ces cristaux[2]. Il est localement riche en inclusions liquides à bulle ; ses propriétés optiques montrent qu'il appartient à la variété α.

Sur les bords du filon, il englobe de gros cristaux d'épidote et des lamelles de ripidolite (Cf. tome I, p. 202). Il n'est pas rare de trouver cette association minéralogique dans les blocs de quartz hyalin recueillis dans les alluvions ou les éluvions.

δ. **Mode de gisement.** — Les pegmatites potassiques se trouvent dans tous les modes de gisement indiqués page 249, mais le plus grand nombre des filons de pegmatites à minéraux accessoires intéressants s'observent dans les gneiss ou dans la série schisto-quartzito-calcaire, les traversent ou plus rarement sont interstratifiés au milieu d'eux (N.-E. de Soarano).

Dans la vallée de la Sahatany, ces filons se trouvent dans les schistes et dans les quartzites, à l'exclusion des calcaires, tandis que ceux-ci renferment le plus grand nombre de filons de pegmatites sodo-lithiques qui, d'ailleurs, se rencontrent aussi dans les quartzites.

Au point de vue génétique, ces pegmatites sont en relation avec un type granitique qui a été décrit plus haut sous le nom de granite monzonitique leucocrate, dont la composition chimique paraît différer peu de celle du type moyen des pegmatites potassiques (voir, page 236, l'analyse de celui de la Sahatany).

1. Il ne faut pas confondre ce quartz avec celui dont les beaux cristaux tapissent les cryptes des quartzites (t. I, p. 203) et qui sont ceux actuellement exploités.

2. Cette structure zonée du quartz est rare à Madagascar ; je ne l'ai trouvée que dans ce gisement. Cette structure a été signalée par M. Percy A. Wagner dans le quartz, rose ou enfumé, de la pegmatite du Nord de Rossing qui fournit la variété de béryl appelée *heliodore*, en même temps que de l'aigue-marine, de la tourmaline noire, de la muscovite, de la magnétite et un peu de wolfram [On some mineral occurrences in the Namib Desert (ancienne Afrique occidentale allemande). *Trans. geol. Soc. of South Africa*, 1921, p. 86].

ε. **Caractéristiques chimiques.** — L'une des caractéristiques distinguant les pegmatites des granites qui les accompagnent réside souvent dans leur plus grande richesse en silice : elle se manifeste parfois par leur passage à de véritables filons de quartz.

Parmi les éléments communs, le potassium domine sur le sodium ; il n'existe pas de lithium, ni de rubidium autrement qu'à l'état de traces[1] ne se traduisant pas minéralogiquement.

Le fer est accompagné de manganèse, mais il prédomine toujours de beaucoup sur celui-ci.

Il n'existe que des traces de magnésium (biotite) ; le calcium est extrêmement peu abondant et généralement il n'est pas feldspathisé.

Parmi les éléments moins abondants encore, il faut citer le bore qui ne se présente que dans les types tourmalinifères, le fluor (biotite, topaze, fluorine exceptionnelle) ; le phosphore ne se rencontre que dans l'apatite et la monazite, le soufre constitue des sulfures et des sulfosels.

Le glucinium est souvent assez abondant et sa présence se traduit par la production d'une grande quantité de béryl, avec exceptionnellement de la cymophane.

Une autre caractéristique d'un très grand nombre de pegmatites potassiques malgaches réside dans la présence et quelquefois dans l'abondance du niobium, du tantale, du titane, généralement accompagnés par l'uranium (radium) et les métaux du groupe de l'yttrium, toujours plus abondants que ceux du groupe du cérium. Ils sont presque toujours associés au zirconium pour former du zircon (malacon), et souvent aussi par le thorium, le plomb (dans les titano-niobates), et le scandium[2], ce dernier est même l'élément essentiel de la thortveitite ; le bismuth est le compagnon habituel de ces métaux, dits rares.

Notons enfin la fréquence de petites quantités de cuivre (chalcosite, érubescite, chalcopyrite), de molybdène (molybdénite) et plus exceptionnellement de zinc (gahnite), d'or (à l'état natif), enfin l'absence de l'étain et du tungstène.

Les grandes dimensions des éléments des pegmatites potassiques et l'altération presque constante de leurs feldspaths n'ont pas permis d'en faire d'analyse, je donne seulement celle (32) d'une pegmatite, à grain relativement fin, formant

1. Dans le microcline d'Ampangabe, des environs de Betafo, de Tananarive.

2. M. de Gramont l'a rencontré, par l'examen spectrographique, dans la cymophane de Miakanjovato (avec titane), dans le béryl d'Ampangabe (avec yttrium et lithium). Il a constaté aussi des traces de gallium, accompagnant le rubidium, dans les microclines cités plus haut et dans la muscovite d'Ampangabe.

un filon dans les schistes au Sud d'Ambaravarana (région d'Ambatofinandrahana). I.4.1'.2'.,

	32
SiO^2	70,68
Al^2O^3	14,19
Fe^2O^3	0,85
FeO	1,49
MgO	»
CaO	1,96
Na^2O	2,73
K^2O	8,03
TiO^2	0,16
P^2O^5	0,07
H^2O +	0,82
—	0,09
	101,07

2° Étude particulière des gisements.

J'aurais voulu présenter sous une forme synthétique l'étude des gisements des pegmatites potassiques malgaches, en établissant entre elles une classification. Malheureusement les renseignements que je possède à cet égard ne sont complets que pour les gisements que j'ai visités moi-même. La plus grande partie des données ci-contre m'ont été fournies par des personnes de bonne volonté qui n'étaient pas minéralogistes, par des prospecteurs, préoccupés seulement de la recherche du béryl ou des minéraux radioactifs. Je n'ai pas pu faire comprendre à la plupart de mes correspondants l'intérêt que présente, même à un point de vue utilitaire, la connaissance de tous les minéraux se trouvant dans un gisement donné et non pas seulement de ceux qui sont monnayables. Il faut dire d'ailleurs, que beaucoup des gisements en question n'ont été reconnus que par leurs éluvions, où ne se rencontrent plus que leurs minéraux non altérables.

Je me bornerai donc à une énumération par ordre géographique, dans laquelle seront réunies toutes les indications que j'ai pu recueillir, laissant au lecteur le soin de les situer dans les groupements établis plus haut. Les particularités intéressantes concernant les minéraux cités seront trouvées dans la description de ceux-ci : je m'attacherai surtout ici à indiquer leurs associations.

α. **Massif septentrional.** — La similitude de composition lithologique que le Nord de l'île présente avec les Hauts-Plateaux conduit à penser qu'il y existe probablement aussi des pegmatites à minéraux intéressants, mais jusqu'à présent, cette région n'a pas été explorée à ce point de vue et je n'ai sur elle que des renseignements insuffisants.

Au Sud d'Andavakoera, à Mangily, ont été trouvés des blocs de quartz hyalin renfermant de longues aiguilles de tourmaline noire et qui proviennent de filons apparentés avec les pegmatites, sinon des pegmatites elles-mêmes.

L'exploration des cours d'eau descendant de la haute région boisée située à l'Ouest de la côte, de Vohémar à Antalaha, montre qu'elle renferme en abondance des pegmatites à muscovite contenant du quartz hyalin, riche en longues aiguilles de tourmaline et en lames de muscovite. M. Rouaix m'a signalé que de récentes recherches ont été faites à Manakana, à 15 kilomètres Nord-Ouest d'Antalaha, sur une pegmatite à grandes lames de muscovite renfermant de la tourmaline, du béryl pierreux, de la tourmaline noire bacillaire et de la tourmaline verte aciculaire ; si cette dernière indication est vérifiée, ce serait là le premier exemple, à Madagascar, d'une pegmatite à muscovite renfermant une tourmaline lithique : ce gisement serait à comparer à celui d'Orvault (Loire-Inférieure) (Cf. page 356).

Sur le revers opposé de l'arête cristalline, et à la limite des sédiments de la province d'Analalava, les pegmatites à microcline rouge sont fréquentes ; elles sont souvent dépourvues de mica ou ne contiennent qu'un peu de biotite. C'est dans l'une d'elles, au Mont Bandahely (rive droite du Maevarano), près d'Antranosiritra, que j'ai trouvé jadis pour la première fois l'euxénite à Madagascar.

Les pegmatites, à énormes cristaux de microcline rose, ont été observées à Loany Antsinjomora (Sud de Befandriana), à Anjobatena (Ouest d'Antsakabary) et au Nord de cette localité sur la Vakivohamena.

β. **Bordures septentrionale et occidentale des Hauts Plateaux.** — Les gisements les plus septentrionaux que je connaisse dans cette région se trouvent à l'Est de Port Bergé, au Sud de la Sofia, à Ambatoharanana et à Ambohimirahavavy où, depuis peu, l'on exploite le béryl.

Région de Tsaratanana. — Des pegmatites encore abondent dans la région de la Mahajamba ; à Berere notamment (39 kilomètres Nord-Ouest de Tsaratanana), est exploitée une pegmatite à muscovite et tourmaline, avec quartz blanc ou rose, dont les cristaux de béryl atteignent trois mètres de longueur ; ils fournissent de belles gemmes, bleues et vertes, accompagnées de strüvérite, de columbite, de monazite et d'ilménite. Des filons de pegmatite à béryl sont reconnus sur le Tampoketsa de Tsaratanana ; je dois au R. P. Moine un échantillon de bismuth natif provenant de l'un d'eux.

De nombreux filons de pegmatite à béryl, bleu et vert, ont été récemment découverts dans la région de Tsaratanana et entre cette localité et Andriamena ; les statistiques du Service des Mines indiquent des exploitations sur les montagnes

suivantes : Antevatapaka, Ampizarantany, Bepia, Mahatsinjo et aussi près des villages suivants : Ambodifiakarana, Antsampandrano, Anahidrano, Ampananganana Tsilavirana, Maropapango, Andasibe, Androfia, Tampoketsa, Ambaliha, Ampandrano, Ambongolava, mais je n'ai aucun renseignement sur les minéraux qui accompagnent les gemmes dans les pegmatites de ces gisements.

A Andakana (Sud-Est de Tsaratanana, Ouest d'Ambolomborona), un filon lenticulaire coupe le gneiss très micacé, il a une structure complexe, à grain moyen sur les bords, à éléments gigantesques au centre, avec béryl.

Une mention spéciale doit être faite pour un filon exploité à Mahabe (27 kilomètres Est d'Andriamena) et qui fournit des cristaux d'amazonite atteignant un mètre de plus grande dimension ; j'ai vu un clivage basique mesurant $0^m,60 \times 0^m,30$. Le quartz est par place transparent, mais avec un aspect opalin d'un effet singulier. Cette pegmatite renferme des cryptes dans lesquelles ont été recueillis des cristaux cristallitiques de quartz, dépassant $0^m,35$ de longueur, du béryl bleu, vert ou jaune et de splendides cristaux incolores légèrement enfumés ou bleuâtres de topaze; l'un d'eux pèse 3 kilogrammes. Autant que j'en puisse juger par le peu d'échantillons que j'ai étudiés, ce gisement promet d'être l'un des plus remarquables de l'île au point de vue minéralogique.

Région de Maevatanana. — Dans le voisinage de Maevatanana il existe beaucoup de filons de pegmatite à grain moyen, avec muscovite, grenat et moins fréquemment tourmaline ; accessoirement s'y voient aussi de la magnétite, de l'hématite, de l'or natif[1] (Betaimby), associé à cet oxyde ; la structure graphique y est souvent fort belle (Mahetsamena, affluent de la Menavava).

Les gemmes cependant n'ont pas été observées jusqu'à présent en place sauf à Besakay, où une pegmatite à béryl a été prospectée, mais il en existe certainement d'autres gisements, car on trouve la topaze, la cymophane à l'état très roulé, dans les alluvions, de l'Ikopa et surtout de la Belambo ; j'ai fait remarquer déjà, qu'à ces minéraux des pegmatites potassiques est associée la rubellite, qui provient certainement d'un autre type de pegmatite.

Dans la région du pic de Namakia, des filons de pegmatites riches en béryl d'un beau bleu ont été récemment découverts.

Les schistes cristallins et notamment les quartzites de la région comprise entre le Mont Tsinjomay et le Bongolava, dans la région de Miandrivazo, sont fort riches en filons de pegmatites à grands cristaux de tourmaline noire (Monts Tsinjomay et Vohimavo ; le Nord-Nord-Est de Miandrivazo, non loin de la bordure sédimentaire).

1. L'or a été rencontré dans les pegmatites du Sud de la Norvège, mais associé au bismuth natif (Brögger, *op. cit.*, p. 22).

Antsihanaka. — Les gneiss et les quartzites à magnétite du pourtour du lac Alaotra sont traversés par de nombreux dykes de pegmatite.

Sur le bord septentrional du lac, au milieu des quartzites à magnétite, d'Andilana, près Andranovola, plusieurs filons d'une pegmatite à feldspath kaolinisé et à quartz blanc ou rose, à très grands éléments, renferment de gros prismes de béryl vert et de la muscovite, concentrée en grands amas, actuellement exploités (Pl. 12, fig. 1) ; on y trouve aussi de beaux trapézoèdres d'almandin-spessartite, de la tourmaline noire, de la magnétite, de la columbite, de la monazite, de l'hématite, de l'ampangabéite ; des druses sont tapissées de beaux cristaux de quartz hyalin.

A 2 kilomètres au Sud-Est d'Andreba (mi-chemin entre Imerimandroso et Ambatondrazaka), un filon épais de pegmatite, à grain moyen, a son microcline peu ou pas kaolinisé ; la biotite, en paillettes régulièrement distribuées ou en larges lames, se concentrant localement, est accompagnée de muscovite qui constitue par places des masses exploitées de plusieurs milliers de kilogrammes. Cette même pegmatite renferme de gros cristaux de tourmaline noire et de columbite, du béryl blanc-bleuâtre et enfin, dans des cryptes, des cristaux d'orthose, offrant l'aspect de la *pierre de lune* et qui datent de la fin de la phase de pneumatolyse (Cf. p. 263).

Un filon de pegmatite du Nord-Est d'Ambatosoratra m'a fourni de jolis cristaux de cymophane ; plus au Sud, il existe des filons à orthose transparente (Ambohitrampiranana), quelquefois blanc jaune, avec béryl vert (1 kilomètre Sud-Est d'Ambohipasika et du chemin d'Imerimandroso à Ambatondrazaka). Une pegmatite du Mont Ampasinomby renferme des trapézoèdres d'almandin et de gros octaèdres de magnétite.

Il faut encore citer les pegmatites à larges lames de muscovite du Nord-Est d'Ambatondrazaka, à Mangalaza (rivière Andriambolo) et Ankaraoka (rivière Nosivola, affluent de gauche de l'Onibe), enfin à Anony et Ankitsika au Nord et au Nord-Nord-Ouest du lac Alaotra. C'est cette dernière région seulement que j'ai visitée ; pour les autres gisements, j'ai été documenté par M. Krafft et par M. Lavila. J'ai cité, page 203 du Tome I, les filons de quartz rose de l'Est d'Imerimandroso.

Betsiriry. — Fort intéressantes aussi sont les pegmatites à béryl qui ont été exploitées par M. Dropsy. Il s'agit tout d'abord de celles qui se trouvent au voisinage du camp aurifère d'Ankarongana (voir les cartes de la page 11). A Antsahamaloto (2 kilomètres au Nord-Nord-Ouest du camp), à Amparikaolo (5 kilomètres Nord-Ouest), à Ankaramainty (4 kilomètres Sud-Ouest) et à Ambohipisaka, ces pegmatites, très altérées, renferment un peu de muscovite et de tourmaline noire, de longs prismes très fendillés de béryl bleu ou verdâtre et du quartz rose ;

de gros cristaux de strüvérite, de magnétite et un peu de columbite ont été rencontrés, çà et là, notamment à Amparikaolo. Des recherches ont été faites à 4 kilomètres au Sud de Kiranomena sur une pegmatite à tourmaline noire et à quartz rose renfermant de très gros cristaux (en général opaques) de béryl. Des pegmatites à béryl ont été exploitées près d'Analaidirana. A signaler aussi des pegmatites à grandes lames de muscovite au Mont Tsaramody.

Sud de la Mania. — Les falaises du Bongolava, au Sud de Janjina, renferment des pegmatites à tourmaline et à béryl bleu ; plus à l'Est, les pegmatites à tourmaline sont peu abondantes dans la zone des quartzites du Sud de la Mania, mais, par contre, leurs dykes, à grands éléments, sont extrêmement nombreux dans la large zone des micaschistes qui se développe dans la direction Janjina-Midongy et au Sud jusqu'à la Matsiatra (vallées de l'Imahatodika, de la Manambaroa, de la Mitody, de l'Ampandramaika et de la Manantsahala, affluents de droite de la Matsiatra). Ces pegmatites renferment du quartz rose (Demoka près Janjina, etc.), de gros cristaux de béryl, de la muscovite en très larges lames (Ambia, à l'Est de Manantsahala ; Vohimena, au Sud de Midongy), des minéraux uranifères, etc.

Grâce à MM. Rossi, Perrier de la Bathie et Battini, j'ai pu étudier de nombreux échantillons de cette région à peine explorée jusqu'alors. Au Mont Ambatofotsy, au Sud de l'Ampandramaika, énormes béryls et ilménite ; au Mont Bemainandro, betafite, titanomagnétite, magnifique cristal de topaze trouvé dans les éluvions, mais indiquant qu'il existe des cryptes à cristaux ; rivière Mitody, tourmaline noire ; Imahatodika, améthyste.

Les pyroxénites à wernérite, au Nord de Midongy, sont traversées par une pegmatite qui renferme de beaux cristaux de monazite, de sphène, des masses d'orthite, etc. Un fragment d'un grand cristal de tourmaline noire provenant de 4 kilomètres au Sud du Mont Lehisada (Lesada) (Nord-Ouest de Midongy) montre qu'il existe aussi des pegmatites dans cette région.

Près de la rive droite de la Mania, au voisinage du Mont Imolo et non loin de Volonandrongo, ont été reconnues des pegmatites à très gros cristaux de microcline et à quartz rose (Malainkavaratra) ou bleus (Ambatohatrano). Sur la rivière Ikoly, au Nord-Ouest d'Ambatofinandrahana, un filon de pegmatite à biotite, d'un mètre d'épaisseur, contenant un peu de tourmaline noire renferme, régulièrement distribués, des grains de *chalcosite* ; ils sont en partie oxydés aux affleurements et transformés en malachite qui, diffusée dans la roche, colore en vert le microcline en lui donnant ainsi un aspect d'amazonite.

Enfin des environs de Midongy, sans plus de précision, j'ai vu des cristaux de sphène de plus de 10 centimètres de plus grande dimension, d'énormes grenats,

des cristaux d'améthyste, du quartz renfermant des aiguilles de tourmaline et de rutile, minéraux qui tous proviennent certainement de pegmatites.

Sud de la Matsiatra. — Je n'ai que peu de renseignements sur la région comprise entre la Matsiatra et l'Onilahy ; je sais seulement que dans le Bas-Zomandao (Tsimandao) (rive droite), il se rencontre des pegmatites à muscovite renfermant de jolis cristaux de tourmaline noire.

L'existence de pegmatite à betafite m'a été signalée d'une façon vague dans la région d'Ihosy, mais j'ai vu des blocs de quartz rose provenant de Beantamba, à 4 kilomètres de Fenoarivo et à 2 kilomètres Est du Mont Ampatimaika, ainsi que de Mitsinjorano.

L'Imaloto roule des blocs de quartz rose parfois riches en tourmaline noire dont je ne connais pas le gisement précis.

γ. **Hauts Plateaux.** — *Région d'Ankazobe.* — Depuis quelques années, la région d'Ankazobe a été beaucoup prospectée, elle est devenue le centre principal de la production des béryls à Madagascar. D'après des renseignements que j'ai recueillis, il semble que les pegmatites de cette région se rapportent toutes au type riche en muscovite et dépourvu de tourmaline ou pauvre en ce minéral.

Ces gisements se trouvent particulièrement au Nord, à l'Est et au Sud-Est d'Ankazobe ; les plus nombreux sont situés sur la rive gauche de la haute Betsiboka. C'est par ceux distribués entre la route d'Ankazobe à Andriba et le fleuve que je commencerai, en allant du Nord au Sud. Ces filons sont intercalés dans des schistes amphiboliques très altérés, renfermant par places des veinules d'asbeste.

Les principaux gisements sont les suivants ; Antsahalava, à 1 800 mètres Nord-Est d'Andranomiely Ambany et sur la rive gauche de la rivière ; le béryl bleu s'y trouve dans un filon surtout quartzeux avec muscovite, betafite, quartz jaune et améthyste, tandis qu'à Ambatoharanana, à 200 mètres Ouest d'Amboasaribe, il s'agit d'une pegmatite très altérée ; les cristaux de béryl bleu de ciel ou d'un vert de mer ont parfois plus d'un décimètre de diamètre, tout en étant très vitreux et non fendillés. Près de Bevato, à 15 kilomètres Nord-Est d'Andranomiely, plusieurs filons ont été reconnus. A Antsahabe, il a été recueilli des prismes pierreux de béryl ayant jusqu'à 30 centimètres de diamètre et aussi des cristaux translucides givreux. A 1 kilomètre plus au Nord, sur la rive droite de l'Androtra, une pegmatite graphique à feldspath altéré est riche en muscovite et béryl.

Des filons de pegmatite ont été prospectés aussi non pour le béryl, mais pour leurs grandes lames de muscovite à Ankijanabe sur l'Ambatomaintikely, à Amboasaribe sur l'Andranomiely.

J'ai été documenté par M. Krafft sur les gisements des environs de Bevony sur

la Manambolo. A Marijao, de très gros prismes de béryl vert foncé, avec parties bleues transparentes, sont englobés dans du quartz enfumé, de couleur très foncée, alors que la muscovite est surtout associée au feldspath : il existe aussi de la biotite, de la columbite, du quartz hyalin et améthyste. Au Mont Antsanatra (Est de Bevony), le béryl est accompagné de muscovite, biotite, columbite, monazite, euxénite. Le gisement d'Ankazotsifantatra (Sud-Ouest de Bevony) a fourni les mêmes associations minéralogiques, le béryl y est d'un très beau bleu ; la monazite atteint de grandes dimensions (jusqu'à 600 grammes). Les gisements voisins : Antaniditra (larges lames de muscovite), Antsakay, Sabotsy présentent les mêmes caractères ; à Ambatoharana, il a été trouvé un peu de tourmaline noire. J'ai étudié récemment de fort beaux cristaux de priorite qui ont été trouvés dans une pegmatite à Ambedabao, sur le Manambolo.

A Morarano, la pegmatite à muscovite renferme de gros cristaux de monazite, de l'euxénite, etc. Dans les environs de Madiomby (Mont Lavatrafo, Mont Amparafara), d'énormes cristaux de béryl bleu de ciel, vert ou jaune, sont accompagnés de monazite, d'almandin-spessartite et de quartz hyalin. Des cristaux de betafite m'ont été donnés par M. Florens comme provenant d'une quarantaine de kilomètres au Sud de cette localité.

M. Rasamoel m'a signalé au Mont Karaoka vis-à-vis Morafeno, de gros cristaux d'almandin-spessartite.

Un gisement intéressant est celui de Tsarasaotra, sur la Tsobohina ; le béryl, la monazite y sont associés à des cristaux transparents de scapolite jaune un peu fluorifère et ferrifère (tome I, page 580). C'est le seul exemple connu de l'existence de la scapolite transparente dans de semblables conditions ; il est possible que la présence de ce minéral, riche en calcium, soit le résultat d'une action de contact due à la réaction des roches basiques que traverse la pegmatite. Malheureusement je n'ai pas de preuves tirées d'observations sur le terrain, à fournir au sujet de cette hypothèse, mais les deux faits suivants la rendent vraisemblable.

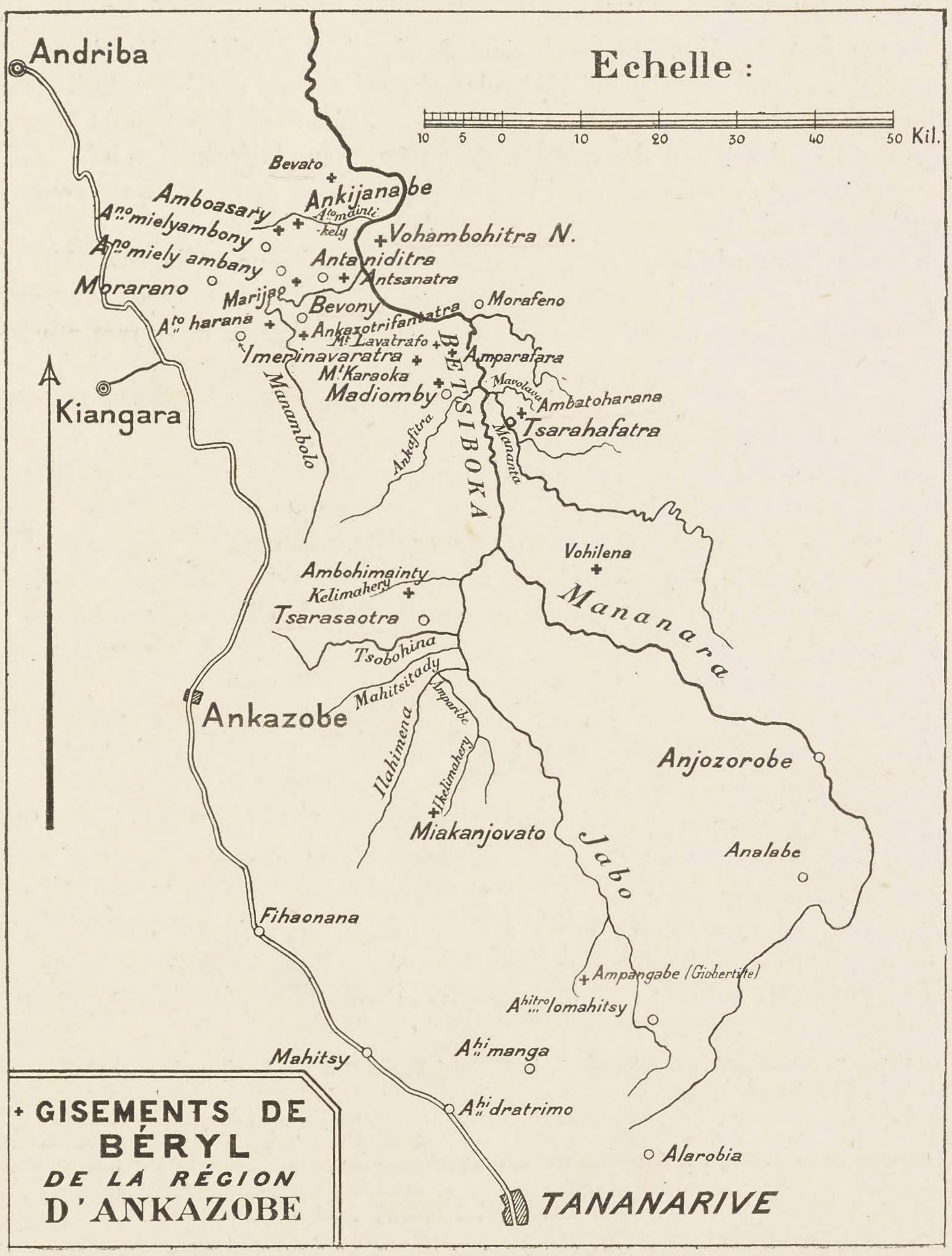
M. J. Stansfield a trouvé[1] ce minéral, mais à l'état opaque et sans formes cristallines, dans une pegmatite à Buckingham (Mine Walker), dans la province de Quebec. Les calcaires de Grenville, imprégnés de graphite, sont traversés par un filon de pegmatite n'ayant que $0^{m},33$ d'épaisseur. Au contact de ces calcaires, qui contiennent eux-mêmes de la scapolite formée par action endomorphe, la pegmatite se transforme en une association intime de scapolite et de quartz ; un peu de chlorite et de calcite secondaire leur sont associées. La scapolite est antérieure au

1. *Amer. J. of Science*, t. XXXVIII, 1916, p. 37.

× ANDRIAMENA

A no = Andrano

A hi = Ambohi



+ GISEMENTS DE BÉRYL DE LA RÉGION D'ANKAZOBE

quartz ou en est contemporaine ; elle existe aussi dans le calcaire et il n'est pas douteux qu'elle y ait une origine exomorphe.

D'autre part, M. Aarne Laitakari vient de signaler[1] un phénomène du même genre aux environs d'Ersby en Finlande, où, au contact avec un calcaire cristallin, une pegmatite à microcline se transforme en une roche à gros grain, formée de scapolite qui englobe des cristaux de quartz, avec plagioclase, calcite, fluorine, etc. D'après cet auteur, des filons de pegmatite de ce genre, ayant assimilé du calcaire, seraient abondants dans le Sud de la Finlande.

A Marivolanitra, le béryl est accompagné de cymophane et de columbite ; à Befanamo, de monazite (très gros cristaux), de columbite, de malacon, de fergusonite et enfin de *thortveitite*, c'est le seul gisement malgache de ce rare minéral de scandium.

Des pegmatites à très grands cristaux de muscovite se rencontrent à Ambohimainty sur la Kelimahery.

Enfin, il me faut signaler au Mont Miakanjovato, des pegmatites à quartz rose, muscovite, renfermant de magnifiques cristaux jaunes de *cymophane*[2], avec ilménite grenue, magnétite (martite), monazite, columbite, ampangabéite, samarskite, euxénite, bismuthosphérite : la cymophane est englobée dans le béryl, la muscovite ou le quartz. Des filons de quartz parfois hyalin, englobent de longs cristaux ou des aiguilles filiformes de tourmaline noire. Dans le gisement voisin de Vazozo, le béryl est accompagné de monazite.

De l'Ouest d'Ankazobe, j'ai vu divers minéraux uranifères (euxénite), du rutile, de la tourmaline noire, mais je n'ai pu avoir de renseignements précis sur les localités d'où ils proviennent[3].

Tous ces gisements sont situés sur la rive gauche de la Betsiboka ; sur sa rive droite, les pegmatites sont moins nombreuses ou tout au moins ont été moins prospectées, mais un gisement est fort intéressant, c'est le Mont Vohambohitra ; il a fourni de magnifiques cristaux de monazite d'un type spécial, associés à du quartz blanc, du béryl bleu laiteux, de l'almandin-spessartite, de la magnétite titanifère, de la biotite, de la muscovite et un peu d'épidote, enfin, de très

1. Ueber die Petrographie und Mineralogie der Kalksteinlagerstatten von Parainen (Pargas). *Bull. Comm. géol. de Finlande*, n° 54, 1920, p. 7.

2. J'ai visité dans le Maine, à Cobble Hill, au Nord de Norway, un gisement de cymophane, accompagnée de zircon et de gahnite, dans une pegmatite dont la structure est déformée par action mécanique. La sillimanite y est très abondante ; je n'ai observé ce minéral dans aucune des pegmatites à cymophane de Madagascar, aussi celles-ci doivent-elles être plus strictement comparées aux pegmatites d'un autre gisement américain, Haddam (Connecticut), où la cymophane est associée, en outre, à la muscovite, à la tourmaline, à la columbite, au béryl, à la spessartite, etc.

3. De beaux échantillons d'euxénite, associés à l'orthite, ont été récemment trouvés à Tiakoderaina, au confluent de la Jabo et de la Lahimena.

beaux cristaux d'euxénite, de la samarskite, du malacon, de la bismuthosphérite et de la columbite.

Plus au Sud, près de Tsarahafatra, une pegmatite à muscovite renferme de gros cristaux d'orthite et de monazite.

Il me reste à signaler une pegmatite à euxénite au Mont Vohilena, dominant la rive droite de la Mananara, à une cinquantaine de kilomètres au Nord-Nord-Est d'Ankazobe et des pegmatites à gros cristaux de béryl au Nord de la même montagne.

Dans toutes les régions qui viennent d'être passées en revue, abondent des cristaux de quartz hyalin et d'améthyste provenant, soit de cryptes dans les pegmatites, soit de fentes dans les schistes cristallins qui les avoisinent.

Région de Tananarive. — A Tananarive même, au Sud de l'Institut Pasteur, un filon de pegmatite à microcline rose, béryl bleu clair, almandin-spessartite, se trouve au milieu du granite et au voisinage des cipolins. Des pegmatites avec béryl altéré et d'autres, à grandes lames de muscovite, existent sur la colline de l'Observatoire.

Des pegmatites ont été prospectées pour leurs grandes lames de muscovite au Nord, à l'Est et au Sud-Est de Tsinjoarivo.

Une pegmatite à amazonite est connue à Ambohibeloma, au Nord-Est de Miarinarivo.

Mandridrano et Sud-Ouest du Vakin'Ankaratra. — La partie du Mandridrano située au Sud du lac Itasy et la portion du Vakin'Ankaratra qui lui est contiguë et s'étend jusqu'au delà de Betafo sont remarquables par l'abondance des filons de pegmatites que l'on observe au milieu des gneiss ou du granite.

En 1911, cette région était le centre de l'exploitation du béryl ; si, à ce point de vue, elle est déchue de son ancienne splendeur, elle contient encore la plupart des gisements uranifères exploités dans la Colonie.

Parmi ces pegmatites, les unes sont riches en muscovite et renferment souvent beaucoup de béryl, les autres, au contraire, ne contiennent que peu ou pas de muscovite, mais une quantité notable de biotite et ce sont elles qui sont le plus riches en minéraux radioactifs.

Je prendrai comme exemple des pegmatites à muscovite et béryl les filons d'Ampangabe, situés à quelques kilomètres au Sud-Est de Miandrarivo, au milieu des gneiss micaschisteux.

La pegmatite à microcline blanc ou rose et à albite est tantôt intacte, tantôt kaolinisée ; elle est très hétérogène, comme structure et comme composition. Dans les principaux filons situés près du toby, on voit des concentrations, ici de quartz rose, là de muscovite en grandes lames associées à du quartz enfumé. Le

béryl est très abondant ; ses cristaux atteignent plus d'un mètre de longueur ; la plupart sont pierreux, blancs, bleus ou verdâtres, mais il en est de transparents par places, d'où sont extraites de belles pierres homogènes ; la couleur la plus fréquente est le bleu de ciel clair, mais on trouve de nombreuses nuances de jaune, de rose, de blanc et il existe aussi des cristaux incolores ; plusieurs couleurs sont parfois associées dans un même cristal. Les cristaux ont des formes nettes (*pm*, avec rarement b^1), ils sont engagés dans le quartz ou le microcline jaune ou rosé (avec albite blanche), quelquefois englobés dans d'énormes cubes de pyrite.

Les minéraux accessoires sont nombreux, souvent concentrés par nids : almandin-spessartite (a^2), columbite (souvent accolée à la muscovite), magnétite, bismuthinite (épigénisée en bismuthosphérite, avec enduits de puchérite), ilmenorutile-strüvérite, monazite (souvent associée à la columbite et au grenat), ampangabéite (presque toujours interpénétrée de cristaux de columbite). Tous ces minéraux forment des cristaux de plusieurs centimètres ; il faut ajouter à leur liste le rutile, le malacon, l'érubescite, qui sont moins abondants ou exceptionnels.

Dans une petite carrière, située au Nord du toby, la pegmatite riche en feldspath, est très fraîche ; les cristaux nets de microcline, les associations graphiques de microcline et de quartz, de muscovite et de quartz, de grenat et de quartz sont particulièrement belles.

Il me reste à signaler une association curieuse de lames de muscovite de 1 à 3 centimètres de diamètre, jaune clair, remarquablement transparentes, et de topaze translucide, blanche ou rosée. On a vu plus haut signalée l'existence d'un filon de quartz limpide, renfermant par place des cristaux d'épidote, et qui est en relations avec la pegmatite.

La caractéristique du gisement d'Ampangabe réside dans l'extrême rareté de la tourmaline qui n'a été rencontrée qu'à l'état de petites aiguilles noires, englobées dans du quartz gris de fumée.

Depuis mon voyage, il a été trouvé à Ampangabe des lames de lépidolite rosée de près d'un décimètre de diamètre dont il sera question page 332.

Un autre gisement, celui d'Ambatofotsikely, présente une grande analogie avec celui d'Ampangabe ; la pegmatite y est aussi très hétérogène, elle renferme des concentrations de muscovite et de quartz ; la muscovite a même pu être exploitée et ses lames ont jusqu'à un mètre de diamètre. On y rencontre aussi du béryl bleu et jaune, mais il est beaucoup moins abondant qu'à Ampangabe et n'est pas exploitable ; un certain nombre de minéraux : almandin-spessartite en cristaux nets ou confus, englobés poecilitiquement par de l'hématite, monazite et columbite, en beaux cristaux, particulièrement abondants dans les parties micacées du filon, ampangabéite, ilmenorutile-strüvérite présentent les mêmes caractéristiques qu'à

Ampangabe. Comme minéraux plus rares, il faut citer l'orthite et la gahnite qui,

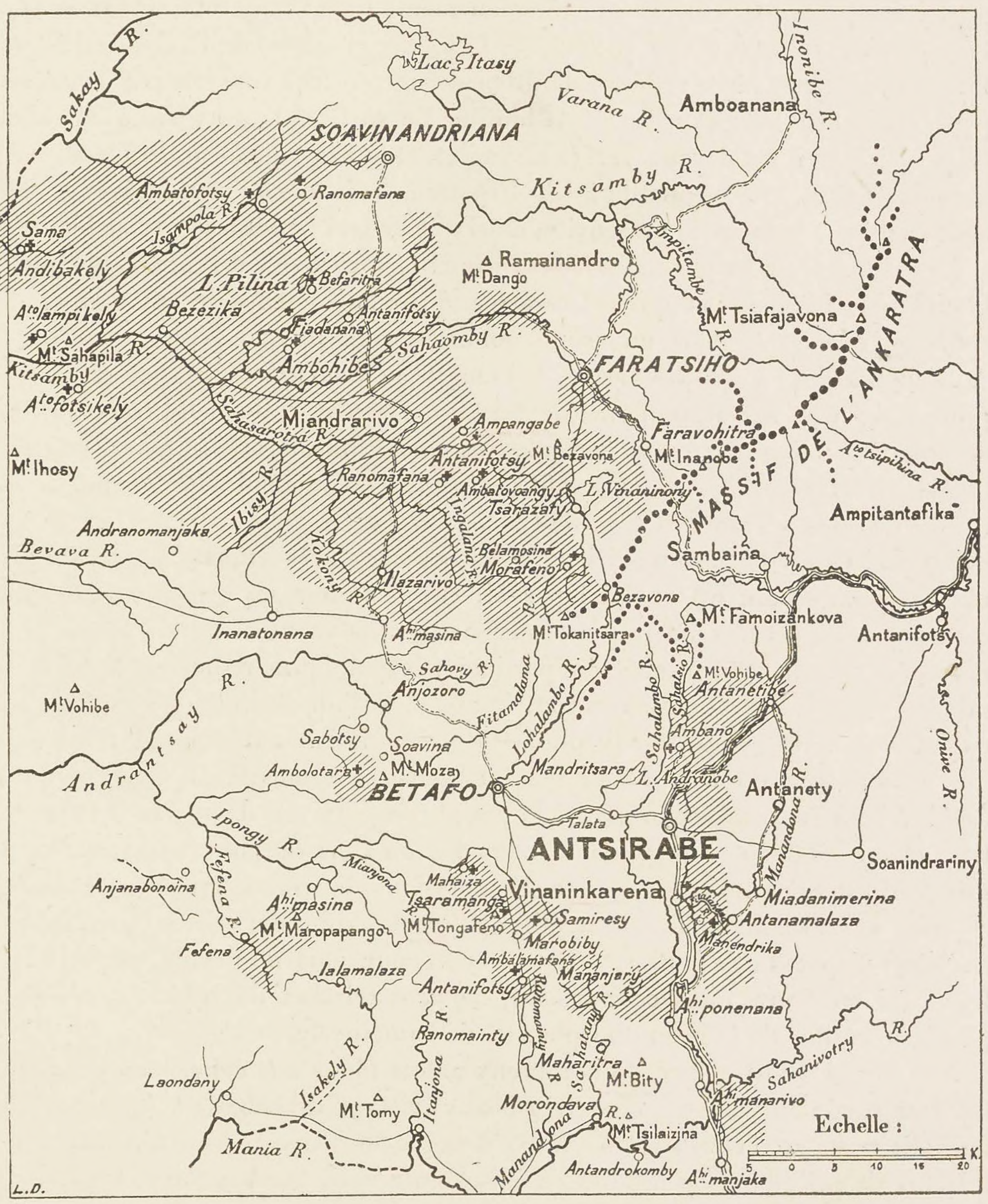


Fig. 9. — Gisements de pegmatites uranifères du Sud du lac Itasy.

à Madagascar, n'a été rencontrée que dans cette localité. Je citerai enfin des cavités drusiques renfermant des cristaux d'améthyste.

Au Sud-Ouest d'Ampangabe, à Sahamandrevo, des pegmatites ont été exploitées qui appartiennent également au même type ; elles renferment du béryl transparent, souvent jaune et rosé, de la topaze incolore, de l'ampangabéite, de l'ilmenorutile-strüvérite et de la bismuthosphérite, ainsi que des cristaux d'euxénite, petits mais fort nets et enfin de la biotite. En surface, le microcline était blanc, en profondeur il est devenu vert (amazonite), et le béryl pierreux. Au Nord d'Ankazomandefitra, une pegmatite à béryl renferme à la fois de grandes lames planes et des agrégats testacés de muscovite, ainsi que de très larges cristaux de biotite.

Le second type de pegmatite, dans lequel la muscovite est rare ou absente, la biotite plus fréquente et qui est caractérisé par l'abondance des minéraux radioactifs est représenté dans un grand nombre de gisements. L'un d'eux, situé à Andranomafana, à 15 kilomètres à l'Ouest de Soavinandriana et récemment prospecté par M. Ruffat, renferme des cristaux d'euxénite atteignant 10 centimètres de longueur ; ce minéral y est exceptionnellement frais, à cassure noire, très éclatante ; il est accompagné de betafite, d'orthite, d'almandin-spessartite. Il s'en trouve d'autres à Tindoa (Cf. p. 318).

Au Sud-Ouest de Soavinandriana, à Ambatofotsy près Ambatomanga, un gisement très important est exploité par M. Dreyfus pour ses cristaux de betafite ; cette pegmatite est très hétérogène ; son quartz, en moyenne d'un beau blanc, prend un aspect enfumé au voisinage des portions feldspathiques riches en betafite ; ce minéral dont les cristaux peuvent atteindre plus d'un centimètre quand ils sont englobés dans le microcline (kaolinisé) ou dans le mica (chloritisé) n'ont guère que la grosseur d'un grain de blé lorsqu'ils sont enchâssés dans le quartz (enfumé) ; ils se trouvent toujours à la périphérie des amas de quartz de la pegmatite ; on ne les observe guère au delà de deux ou trois centimètres de celle-ci. Ce gisement est remarquable par les agglomérations de grands cristaux de betafite associés au malacon, à l'uranothorite et englobant parfois des cristaux prismatiques de béryl disparus (T. I, pl. 16, fig. 5) (Cf. pour plus de détails, page 132). Il faut citer en outre, dans ce gisement, de gros cristaux de sphène pseudomorphisés en rutile, de la bismuthosphérite, de l'améthyste.

Non loin d'Ambatofotsy, de nombreux autres filons ont été rencontrés au Sud de Tampanala en particulier, de très beaux cristaux de betafite à Ambohidrano, de jolis cristaux d'euxénite ; à Amparikolo, 1 500 mètres Sud d'Ambatofotsy, cristaux de priorite et de betafite. A mi-chemin entre Ambatofotsy et Soavinandriana, à Ranomafana, une pegmatite à muscovite et tourmaline est riche en euxénite qu'accompagnent des cristaux de fergusonite, de betafite, d'almandin-spessartite et de l'orthite. A Andavakisolo (15 kilomètres Sud-Est d'Ambatofotsy), une pegmatite renferme un peu d'euxénite, de monazite, d'aigue-marine, de grenat

transformé en oxyde de manganèse; à Amparitana (4 kilomètres Est d'Ambatofotsy), pegmatite avec blocs de betafite pesant jusqu'à 20 kilogrammes.

Plusieurs gisements analogues à celui d'Ambatofotsy se trouvent entre la rive droite du Kitsamby et son affluent la Sakay; ces gisements, découverts par M. Florens, sont actuellement travaillés par le Syndicat lyonnais et M. Costes a complété ma documentation sur eux. Près du village de Sama, et notamment à Andibakely, l'euxénite, en agrégats de cristaux columnaires, est accompagnée de très gros octaèdres de betafite parfois zonés (brun noir au centre, jaune sur la périphérie), d'orthite, d'apatite verte, de cristaux de quartz à inclusions de göthite; comme minéraux accessoires, il faut citer encore fort peu de tourmaline, de grenat et exceptionnellement de béryl ; le microcline se présente, au moins en partie, sous forme d'amazonite (cristaux atteignant $0^m,40$). Là encore, comme à Ambatofotsy, la betafite est concentrée dans des amas de biotite altérée ou bien aux alentours de masses de quartz enfumé; il existe aussi du quartz opalescent, bleuâtre.

Un peu à l'Est, à Ambatolampikely, sur le flanc occidental du mont Sahapila, je signalerai un gisement remarquable par les énormes dimensions qu'y prennent les cristaux de betafite: le malacon y abonde aussi.

Entre cette localité et Besesika, je dois citer une pegmatite à euxénite, fort riche en tourmaline.

D'Ambalahazo, à 1 kilomètre de la rive droite du Kitsamby, M. Rasamoel m'a envoyé de beaux cristaux de betafite, accompagnant du béryl, de l'almandin-spessartite et de la magnétite.

A Befaritra, aux alentours de Fiadanana, dans la région d'Ambohibe (2 kilomètres Nord-Est du lac Pilina), une pegmatite renferme de l'orangite et de l'uranothorite associées à de la betafite. Au Sud du même lac, des recherches ont été effectuées sur plusieurs filons de pegmatite qui paraissent être très analogues aux précédents, et qui fournissent de très gros cristaux de betafite associés à l'orangite, des cristaux d'euxénite, de fergusonite (notamment filon d'Ambohidrangy), du malacon, du béryl bleu, de l'almandin-spessartite (souvent très imprégné de psilomélane); la tourmaline est exceptionnelle. Des cryptes sont tapissées de beaux cristaux de quartz hyalin, enfumé ou améthyste, associés à des cristaux d'hématite, de rutile et de sphène. De Sambaina (Ouest de Fiadanana), j'ai vu une belle euxénite noire.

Aux environs d'Ampangabe, il faut signaler un certain nombre de filons de pegmatite, intéressants au point de vue uranifère : l'un d'eux situé à 2 kilomètres à l'Est d'Ampangabe, à Antanifotsy, a fourni les premiers beaux cristaux de betafite que j'ai décrits; au Sud-Est, à Ambatovohangy, non loin de Ranomafana,

ont été rencontrés d'énormes cristaux du même minéral, à formes peu distinctes, accompagnant de l'almandin-spessartite ; j'ai vu de la betafite et de la columbite provenant de Tsindranolahy (1 700 mètres Nord du Mont Mandazotanora).

J'ai examiné récemment une variété blanche de bismuthosphérite recueillie dans une pegmatite à Ambatosokina et Vohitany dans la même vallée de la rivière Sahasarotra.

Plusieurs filons de même nature ont été reconnus entre Ranomafana et Morafeno, notamment à Ambalafeno (betafite, euxénite, ilménorutile, columbite, magnétite, malacon, almandin-spessartite, béryl, quartz enfumé), à quelques kilomètres au Sud-Sud-Ouest du lac Vinaninony.

Au Sud du lac, dans la région de Belamosina[1], à Ambatofotsy notamment, une pegmatite fournit en abondance de la columbite ; au Mont Mandazotanora à 1 kilomètre à l'Ouest de Tsarazafy, sur les bords du lac, orthite (biréfringente), tandis qu'à Befanala prédominent la betafite et le malacon ; au Mont Morarano, 4 kilomètres Ouest de Belamosina, betafite.

Les pegmatites de Kokonana dans la vallée de l'Ingalana renferment du béryl bleu clair et de la columbite. A Volambato, près Antoby, c'est-à-dire un peu plus à l'Est, les pegmatites contiennent du béryl et de la bismuthosphérite.

Région à l'Ouest du Vakin'Ankaratra. — Quelques gisements de pegmatite ont été reconnus dans cette région ; à Jaiky, au confluent de l'Ankadifotsy et de l'Andrahangy, du béryl rose et vert est associé à la tourmaline et à la muscovite ; j'ai vu de beaux cristaux transparents corrodés de béryl provenant de cette localité.

Les pegmatites d'Ialamalaza renferment de gros cristaux basés de béryl, vert olive et bleu clair.

Plus intéressants sont les filons de pegmatite très quartzeuse de Fefena qui traversent les micaschistes ; le quartz rose ou blanc laiteux, renferme du béryl bleu foncé, jaune verdâtre ou incolore et de la tourmaline noire ; ces deux minéraux sont surtout abondants aux épontes ; de magnifiques cristaux d'ilmenorutile-strüvérite à faces planes (Tome I, planche 8) sont englobés dans le quartz, généralement gris enfumé à leur contact, alors que d'autres cristaux du même minéral, beaucoup plus gros, mais à faces rugueuses, se trouvent dans le microcline altéré. A signaler encore en petite quantité la samarskite, la blomstrandite, d'énormes cristaux de bismuthinite, transformée en bismuthosphérite, des octaèdres de magnétite. La muscovite n'existe pas dans le filon exploité pour béryl en 1914, mais elle abonde dans un autre filon situé à 500 mètres plus loin qui contient

1. J'ai été surtout documenté par M. Brusque sur la région de Belamosina et Fiadanana qui n'était pas encore prospectée quand je l'ai traversée.

de gros cristaux opaques de béryl. Une pegmatite analogue se trouve au Sud-Est de Fefena à Longozina (béryl bleu).

A 2 kilomètres au Nord-Ouest d'Anjanabonoina, on peut signaler une pegmatite à lames de muscovite atteignant 10 centimètres de diamètre, puis au mont Vohidroa des pegmatites à muscovite, tourmaline, almandin-spessartite ; à Ambohibetazana une pegmatite contient de la tourmaline bacillaire ; sur la rive droite de l'Isakely, affluent de gauche de la Mania, à l'Est de Laondany, je signalerai des pegmatites à muscovite, biotite et tourmaline.

Une pegmatite de Trafonomby renferme de la columbite ; celles du pic de Maropapango et des monts Vohitromby et Marirano contiennent de gros cristaux de béryl pierreux.

Région de Betafo. — A 5 kilomètres au Sud de Betafo, la pegmatite d'Itsinana renferme de la betafite. Une des pegmatites gemmifères les plus remarquables de Madagascar est celle du village de Tsaramanga, à 3 kilomètres au Nord du mont Tongafeno (15 kilomètres au Sud de Betafo) ; c'est généralement sous le nom de cette montagne qu'est désigné ce gisement. Un filon unique ou plusieurs filons de pegmatite très kaolinisée traversent un granite à facies gneissique, en contact avec un gabbro mélanocrate partiellement transformé en amphibolite. Le tout est recouvert par des éluvions.

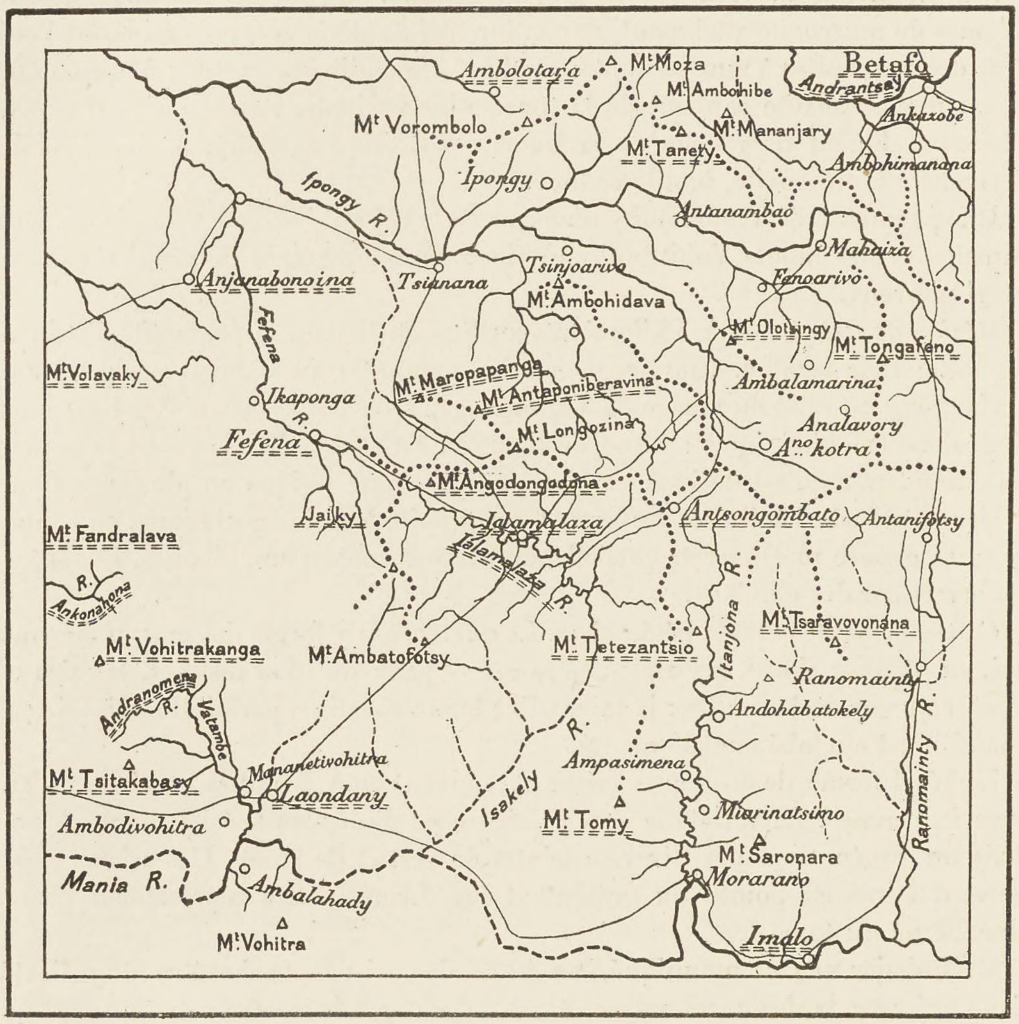
Cette pegmatite est très hétérogène. Le quartz rose y forme des masses énormes qui, au premier abord, pourraient être prises pour un filon distinct, le mica est représenté par de la biotite : le microcline blanc constitue parfois de jolis cristaux quand il est englobé dans le quartz.

Le béryl forme de fort gros cristaux, souvent non fendillés et vitreux dans toute leur masse. La variété la plus précieuse est d'un bleu spécial, teinté de noir mais on rencontre aussi diverses teintes de vert et de jaune. Ces cristaux sont souvent étirés en pointe ou présentent des formes nettes représentées par la planche 24 du tome I.

M. Boissier m'a communiqué, en outre, des prismes enchevêtrés dont l'extérieur présente la belle coloration bleue, alors que le centre est d'un vert qui rappelle un peu celui de l'émeraude ; c'est le seul exemple de béryl de cette couleur que je connaisse à Madagascar.

La tourmaline noire est fort abondante ; ses cristaux nets ont jusqu'à plus d'un décimètre de longueur ; ils englobent quelquefois de beaux trapézoèdres d'almandin-spessartite (Cf. fig. 377, page 463 du tome I). Des cristaux de *blomstrandite,* atteignant plusieurs centimètres de diamètre, sont associés à des cristaux aplatis de columbite ; des cristaux de malacon, des octaèdres de magnétite, plus rarement d'ilmenorutile et des masses de bismuthosphérite sont moins

fréquents que les minéraux précédents et, comme eux, se rencontrent surtout dans la terre rouge éluviale ; par contre, c'est dans le quartz ou dans ses cavités



GISEMENTS GEMMIFÈRES A L'O. DU MÉRIDIEN DE BETAFO

Les gisements sont soulignés d'un double trait.

qu'a été recueillie une certaine quantité de jolis cristaux de molybdénite (Tome I, fig. 1 de la pl. 31).

De très beaux groupes de cristaux polysynthétiques de quartz enfumé, des cristaux à faces brillantes de béryl, moins abondants, que l'on recueille dans la terre rouge montrent que cette pegmatite a renfermé des cryptes que je n'ai pas

vues en place. Une recherche ouverte à une centaine de mètres à l'Est de l'exploitation a cependant mis à jour une pegmatite renfermant quelques druses à cristaux de quartz et de microcline.

Au Sud de Marobiby, à Antanifotsy, une pegmatite à euxénite renferme d'énormes cristaux de tourmaline noire.

Des pegmatites à béryl bleu et euxénite m'ont été signalées à Ambohimanana, à 3 heures de marche au Sud de Mahaiza.

A environ 10 kilomètres au Sud de Betafo et un peu au Sud-Est du lac Tritriva, près de Samiresy, des pegmatites très kaolinisées sont intercalées dans les micaschites et les pyroxénites résultant de la transformation de calcaires. Elles sont très quartzeuses (quartz, enfumé aux épontes, rose aux affleurements, gris en profondeur) ; elles renferment une petite quantité de béryl bleuâtre, vert ou jaune, d'assez jolis cristaux de tourmaline noire, d'almandin-spessartite, fort peu de biotite et de muscovite ; elles sont particulièrement intéressantes à cause de l'existence d'euxénite, de *samirésite* (c'est là le gisement originel), de zircon brun, de bismuth natif transformé en bismuthosphérite et enfin d'un peu de *pyromorphite* ; la bismuthosphérite et la samirésite paraissent localisées dans le quartz ou à sa proximité. J'ai été conduit sur ce gisement par M. Rasamoel.

Au Sud-Ouest du lac Andranobe, dans la région d'Antanamalaza et de Masompenoarivo, de beaux béryls ont été trouvés dans une pegmatite à quartz rose ; dans la même région, à la montagne de Tsaramanga, j'ai vu quelques filons de ce genre (Antanibe) renfermant, au milieu du quartz rose, des cavités hexagonales de plusieurs décimètres de longueur, correspondant à des béryls disparus. Il y existe aussi une petite quantité d'euxénite et de monazite. Un gisement voisin (11 kilomètres d'Antsirabe) renferme des cristaux peu nets de betafite, alors qu'à Andraikiba (3 kilomètres d'Antsirabe), se rencontrent de jolis cristaux d'euxénite.

Il me reste à signaler que des pegmatites ont été exploitées pour leurs grandes lames de muscovite à Mandadiana, à Anjanimanana et au mont Fiatery dans le bassin de la Mianjona, à Antanimasina, sur la rivière Sandray et à Ambatolahy sur la rivière Tanjona.

Vallée de la Sahatany. — Près des sources de la Sahatany, à 1 kilomètre au Nord du village Ambalamafana, un filon de pegmatite à biotite renferme de gros cristaux d'euxénite et de monazite.

Plusieurs gisements se rencontrent sur le versant regardant la vallée de la Sahatany, dans le voisinage des pegmatites à rubellite d'Antaboaka, dont il sera question plus loin.

A Ambatolampy, sur la rive gauche de l'une des premières branches de la Sahatany, une pegmatite très kaolinisée se trouve dans les quartzites ; elle ren-

ferme de gros prismes de béryl altérés, d'où ont été tirées de belles pierres d'un bleu azur ; ils sont accompagnés de grands cristaux de tourmaline noire.

A 500 mètres à l'Ouest de ce gisement, à Fatihita, à l'Ouest du village de Tetehina, un autre filon a fourni de gros cristaux bleu-verdâtre de béryl et de beaux cristaux d'euxénite; je n'y ai vu que du quartz rose et de la tourmaline noire. Ce filon traverse le granite gneissique.

Quelques autres gisements se trouvent à plus basse altitude : ceux d'Ampahitra et du mont Tsiandaiza sont situés à l'Ouest de la Sahatany. Du second de ces gisements, j'ai examiné de nombreux prismes hexagonaux basés de béryl opaques, de 1 à 6 centimètres de longueur (avec tourmaline noire) ; ils sont faciles à isoler complets d'une gangue feldspathique.

Sur le bord de la Sahatany, à Ambohitravorano (au Nord-Nord-Est de Maharitra), j'ai vu une petite carrière ouverte dans une pegmatite très fraîche dont le microcline est, çà et là, teinté de vert clair. Le béryl y est vert ou vert jaunâtre ; il est accompagné d'almandin-spessartite, de biotite, de monazite et d'un peu de *fluorine* blanche ou violette. C'est la seule pegmatite potassique de Madagascar dans laquelle j'ai recueilli ce dernier minéral.

Sur le plateau de Maharitra, des filons de pegmatite à béryl sont parallèles à ceux renfermant les minéraux lithiques ; ils en sont bien distincts ; l'un d'eux est essentiellement constitué par du quartz rose, avec, seulement sur les bords, d'énormes cristaux de microcline. Ce quartz renferme des prismes de béryl pierreux ($0^m,40 \times 0^m,20$) qui ont fourni dans leur partie centrale quelques pierres bleues.

Une recherche a été faite au milieu des quartzites du flanc occidental du Mont Bity, à environ une heure de marche à l'Est de Maharitra, sur un filon de quartz de pegmatite renfermant de fort jolis prismes de béryl transparent, d'un bleu assez foncé.

Est et Sud-Est d'Antsirabe. — Des pegmatites à quartz rose et béryl ont été signalées dans la région du Vontovorona, du Iankiania et du Mont Vohibe.

A Soavinarivo, une pegmatite à muscovite, en relation avec le filon aurifère, renferme de la tourmaline noire présentant souvent des groupements graphiques avec le quartz. Enfin des pegmatites à tourmaline m'ont été signalées dans la région de Fisakanana jusqu'au Mont Vatondrangy.

A environ 7 kilomètres Sud-Est de Vinaninkarena, et dans la direction d'Antanamalaza, se trouve, à Manendrika, une pegmatite à béryl et grenat renfermant des cristaux nets de samarskite et de blomstrandite.

Plusieurs gisements de pegmatite à béryl se trouvent à l'Est de la Manandona, dans la région où celle-ci court sensiblement Nord-Sud, au pied oriental du

massif du Mont Bity. Il faut citer tout d'abord la vallée de l'Ifasina, affluent de la Sahanivotry, puis ceux, plus nombreux, de la basse vallée de cette dernière rivière, près de son confluent avec la Manandona.

Sur la rive droite de celle-ci et sur le flanc du Mont Ambohimanitra, se voit un filon d'une pegmatite à énormes éléments. Dans une partie de ce filon, il n'existe que du quartz d'un rose magnifique, renfermant des cristaux colossaux de tourmaline noire, alors que le béryl vert est surtout localisé, avec fort peu de biotite, dans le feldspath kaolinisé presque pur ; des cristaux de béryl d'un bleu verdâtre, en partie altérés, atteignent jusqu'à $0^{m},40$ de longueur.

Les filons sont plus nombreux sur les pentes assez raides de la rive gauche du ruisseau. Le plus bas de ceux que j'ai examinés est surtout constitué par du quartz gras, au milieu duquel se trouvent de très gros amas de lames enchevêtrées de muscovite ; il existe aussi de la tourmaline noire, surtout au contact du quartz avec des portions riches en microcline.

Un peu au-dessus de ce filon, se voient, dans les schistes métamorphisés par le granite, une pegmatite à quartz gras, renfermant un peu de tourmaline, d'almandin-spessartite, de biotite et de beaux cristaux de béryl bleuâtre. Le feldspath est entièrement kaolinisé, mais un peu plus loin, une pegmatite (peut-être du même filon ?) a son feldspath moins altéré. Il existe de la muscovite et fort peu de tourmaline. Le béryl est bleu verdâtre ou jaune et pierreux.

Dans toutes les pegmatites de cette région, la structure graphique est fréquente et bien mise en évidence par la décomposition des feldspaths.

Des filons de quartz rose paraissant dépourvus de béryl se rencontrent, près de Befotaka, au Sud de la Sahanivotry, vis-à-vis des gisements précédents. Plus au Sud encore, on a signalé des pegmatites à béryl sur la rive droite de l'Analavavahady. Au Sud de la Sahamivatra, on trouve des pegmatites à betafite.

Dans la haute vallée de la Sahatorendrika (rive droite) affluent de droite de la haute Mania, plusieurs filons de pegmatite à béryl ont été reconnus près d'Antsahalava.

Plus à l'Est, des filons de pegmatite se trouvent sur les flancs du Mont Vorondolo ; ils ont fourni d'énormes prismes hexagonaux basés de béryl pierreux.

Je dois à M. Bourdariat de nombreux échantillons recueillis dans les pegmatites du versant gauche de la vallée de l'Andranomifafy, affluent d'une autre Sahatorendrika, affluent de l'Onive, située au Nord-Est de la précédente ; ils consistent en prismes de béryl bleu clair ou vert jaune souvent tordus ou brisés et associés à de la tourmaline noire ainsi qu'à de gros cristaux d'almandin-pyrope.

Région d'Ambositra. — D'après les échantillons que m'a remis M. Thomas, des pegmatites à quartz rose, renfermant de la tourmaline noire et de la strüvé-

rite, se trouvent à Tsimanahy, à une dizaine de kilomètres au Nord d'Ambositra, vers le kilomètre 250 de la route du Sud.

A l'Est d'Ambositra, l'Ifempina, affluent de la Sahanofa, coule dans une région de gneiss, de micaschistes et de quartzites, traversée par des filons de pegmatite à tourmaline et à béryl (notamment dans la Sakabe, affluent de l'Ifempina).

Des blocs de cette roche abondent dans les alluvions aurifères exploitées, notamment près du toby d'Ifempina ; ils sont accompagnés de gros cristaux roulés transparents de topaze incolore, de béryl (aigue marine), de rutile, de petits cristaux de cymophane, minéraux qui proviennent certainement tous de la démolition des pegmatites, de même que la tourmaline noire qui les accompagne, mais au cours de la rapide excursion que j'ai faite dans cette partie de la forêt, je n'ai vu en place que la tourmaline.

D'autres gisements se trouvent à l'Ouest d'Ambositra, à Fiherenana, à l'Ouest de filons de pegmatites lithiques.

A Ambatonjirika, il existe des pegmatites à gros béryls dans lesquelles la muscovite forme de petites lames associées à de la monazite.

Plus à l'Ouest, le massif granitique d'Ambatofinandrahana et les schistes cristallins voisins renferment des filons de pegmatite à grandes lames de muscovite (Samilahy) ou de biotite (Ifandiana) ; entre Ifasina et Ambohimahatahotra, il existe un filon de 0^{m},80 d'épaisseur de pegmatite à amazonite, dépourvue de minéraux accessoires. Des pegmatites à tourmaline noire sont à signaler dans la région de Soavina, à Ampanosolo au Nord-Ouest d'Ampitahana (magnifiques cristaux de tourmaline), à Bedihy et dans le massif de gabbros de l'Itsindra. Les pegmatites à gros cristaux de béryl et de tourmaline noire abondent dans le voisinage d'Ambatofinandrahana et particulièrement plus au Sud (Ambatomainty, Fenoarivo), ainsi qu'au Nord du village (Soavina), à Fiherenana : du beau quartz rose existe à Ambararata (3 kilomètres Est d'Amboasary, près Ambatomainty).

Région de Fianarantsoa. — Le Nord-Ouest et l'Ouest de Fianarantsoa constituent une région fort intéressante au point de vue des pegmatites. Des types à grandes lames de muscovite ont été prospectés sur la Matsiatra à Ankaramaso et à Vohitrarivo.

Au Mont Vohimena, à 6 kilomètres au Nord d'Ikalamavony, des pegmatites renferment des prismes pierreux de béryl pesant jusqu'à 100 kilogrammes ; ils sont associés à de la bismuthosphérite.

Au Sud-Est, près d'Ikalamavony, à Maseza, des pegmatites à muscovite et tourmaline ont été exploitées pour l'extraction du béryl bleu et vert qui se trouve en cristaux à formes nettes dans du quartz rose.

Plus au Sud, à Anosivola, sur la Manambovona, des pegmatites sont remarquables par leurs grandes lames de muscovite.

Toute une série de gisements de pegmatites sont à signaler sur la rive droite de la Manantantanana près de Solila (avec béryl et strüvérite) et à l'Ouest, sur la rivière Iafo (avec bismuthosphérite), puis entre Solila et Ambalavao. Des minéraux radioactifs auraient été trouvés dans le voisinage de cette dernière localité.

Des pegmatites se trouvent à Andravandahy (à une centaine de kilomètres de Fianarantsoa) qui contiennent, avec du béryl, de gros cristaux d'allanite et d'almandin-spessartite.

Enfin, j'ai eu entre les mains d'énormes cristaux de tourmaline noire, associés à de la muscovite, qui m'ont été donnés comme provenant de la région de Fianarantsoa, sans plus de précision, et qui ont été fournis par quelques-uns des gisements qui viennent d'être énumérés, sinon par d'autres.

Région côtière de l'Est. — Des filons de pegmatites abondent entre la grande falaise de l'Est et la côte, mais ils ont été peu étudiés et les renseignements que j'ai pu recueillir sur eux sont très fragmentaires.

M. Michaut vient de me signaler la découverte de pegmatite à béryl bleu, tourmaline noire et muscovite sur un petit affluent de droite de l'Ivondrona, à une trentaine de kilomètres à l'Ouest de Tamatave (Nord-Nord-Ouest de Sahatsara) ; le béryl bleu se trouve surtout dans le feldspath kaolinisé ; la tourmaline dans le quartz.

Des cristaux de béryl jaune ont été recueillis au Sud-Est d'Anivorano.

De beaux blocs de quartz hyalin renfermant de longues aiguilles de tourmaline viennent d'être trouvés dans la forêt près du pic Ankatsakafobe (9 heures au Nord des exploitations de graphite d'Ambakaona (Nord-Nord-Ouest d'Anivorano).

J'ai en mains un échantillon de fergusonite qui aurait été trouvé dans la région de Beforona.

Dans la région d'Andovoranto, des pegmatites, à grandes lames de muscovite, ont été récemment prospectées à Ampasinambo (rivière Ambila). Elles paraissent être assez abondantes dans le bassin du Mananjary : elles ont été prospectées pour ce minéral à Betadina (rivière Saka), à Mahizana (rivière Sahateza, affluent de droite de la Saka), à Vohilava (rivière Ampasary), mais je ne sais rien de plus à ce sujet.

La tourmaline n'est pas rare dans cette région, j'en ai étudié un beau cristal provenant des lavages d'or d'Andrangavola.

Des pegmatites, à grandes lames de muscovite encore, existent dans la région d'Ambohimahasoa (Andraina sur le Namorona) et d'Ifanadiana (à Tsaratangona), ainsi que dans les environs de Vohipeno.

δ. **Massif méridional.** — La région de Betroka est riche en pegmatites ; à l'Ouest et au Sud, entre l'Onilahy et le parallèle de Tsivory, leurs filons contiennent de la muscovite ; dans certains d'entre eux, la tourmaline est abondante ; à signaler en particulier à ce point de vue Ampasimainty, près Ambatomainty sur l'Ivahona ; Angodongodona entre l'Isoanala et l'Ibeandry (filon dans pyroxénite) ; Mahabo ; etc.

Le seul intérêt minéralogique que je leur connaisse consiste dans l'existence de *tscheffkinite,* qui, à l'inverse de ce qui sera signalé plus loin dans les pegmatites syénitiques, se présente en masses noires, dépourvues de toute forme géométrique. A Androngovato, entre Itrongay et Sahaninoka, ce minéral est associé à de l'almandin ; à Ianakafy, sur la rive gauche de l'Onilahy, en amont de Benenitra, il accompagne des associations perthitiques de magnétite et de crichtonite. C'est vraisemblablement une pegmatite du même genre, qui, à Betroka même et à Isoanala, contient de grosses masses de tscheffkinite que je n'ai vues que dépourvues de toute gangue.

Par analogie avec le gisement de la thorianite à Ceylan, je suppose que c'est d'une pegmatite que proviennent les cristaux de ce minéral décrits dans le tome I et qui m'ont été donnés, sans plus de précision, comme ayant été trouvés dans la région de Betroka.

Dans l'Androy, les pegmatites ne sont pas moins abondantes (Bekily ; Bekitro ; Ankilimaro ; confluent de l'Ianapera et de l'Ibohaka ; Andemobe ; Tranomaro ; vallée de la Betroka, affluent de la Mananara ; Haut Mandrare). Beaucoup d'entre elles renferment en grande abondance du grenat rose (voir page 370), ou bien de la tourmaline noire en énormes cristaux (entre Antanimora et l'Ikonda ; entre Behara et Tsilamaha ; entre Betakapaka et Bekitro : Kokomba). Des phénomènes mécaniques ont souvent déformé leur structure ; dans une pegmatite d'Andrahomana, j'ai vu des cristaux brisés de microcline ressoudés par de la tourmaline noire.

Il est fréquent dans l'Androy de trouver des pegmatites dont le quartz présente une couleur bleuâtre ou verdâtre, opalescente ; un bel exemple est à citer au Col de Bevava, où la pegmatite renferme, en outre, des octaèdres de magnétite entourés par des paillettes de biotite.

De grandes lames de muscovite ont été prospectées au Sud de Tsiombe ; dans cette localité, il existe de très nombreux cristaux d'améthyste provenant des cryptes de cette même pegmatite.

Dans le Pays Mahafaly, les pegmatites ne sont pas moins abondantes ; près d'Ampanihy, elles sont riches en grandes lames de muscovite et de biotite ; plus rarement elles renferment d'énormes cristaux de béryl bleu (Nord d'Iandara au

Nord d'Ejeda), avec un peu de tourmaline noire et de quartz rose. A Vohimisampana (à une heure et demie à l'Est d'Ampanihy) de très grands cristaux de béryl pierreux accompagnent la muscovite.

Au Mont Vohibory, des pegmatites à feldspath rosé renferment à la fois de la muscovite, de la tourmaline noire et du grenat ; plus loin, dans la direction de Benenitra, se trouve une pegmatite à microcline, muscovite et graphite, très déformée par actions mécaniques, elle contient de petits cristaux de tourmaline, jaune verdâtre ; c'est le seul cas que j'aie observé à Madagascar d'une tourmaline transparente dans une pegmatite à muscovite.

Enfin, je signalerai à Besakoa, sur la Menarandra, au Nord de Bekily), une pegmatite à cristaux nets de tourmaline qui sont engagés dans de grandes lames de muscovite.

3° Comparaison des pegmatites malgaches avec celles de quelques autres contrées.

Il est intéressant de comparer aux pegmatites malgaches celles de quelques autres contrées. L'extrême abondance de ces roches dans toutes les régions constituées par des granites me conduit à limiter cette comparaison aux pegmatites renfermant les minéraux accessoires caractéristiques des gisements malgaches, et particulièrement à celles des régions que j'ai visitées.

1° *Pegmatites dépourvues de cryptes.*

α. **France.** — Tous les types de pegmatite communs à Madagascar se rencontrent en France et l'on peut trouver l'énumération de leurs gisements dans les articles microcline, muscovite, biotite, tourmaline et grenat de ma *Minéralogie de la France et de ses Colonies.*

Il est à remarquer que les pegmatites à muscovite des environs de Nantes, correspondant à un type fréquent à Madagascar, renferment souvent des cristaux de cassitérite et de wolfram, minéraux qui, jusqu'ici, n'ont pas été trouvés dans la Grande Ile.

Le type à béryl se rencontre aussi en France, mais avec la réserve déjà indiquée plus haut, à savoir que, dans la métropole, le béryl y est presque toujours pierreux et opaque. L'association de tourmaline noire, béryl et trapézoèdres d'almandin est particulièrement caractérisée à Montjeu, près d'Autun ; la réunion d'énormes cristaux de béryl, d'amas de grandes masses de muscovite et aussi de tourmaline est à signaler à Biauchaud, au Nord de Saint-Pierre-la-Bourlhogne dans le Puy-de-Dôme, etc., mais une mention spéciale doit être faite pour les

pegmatites du Limousin qui sont improprement indiquées dans les Traités de Minéralogie comme situées à Limoges, alors qu'en réalité elles se trouvent dans la région de Bessines, à une cinquantaine de kilomètres au Nord de cette ville.

Pegmatites du Limousin. — Les filons de pegmatites du Limousin sont nombreux ; ils traversent le granite à deux micas. Le feldspath est du microcline, associé à beaucoup d'albite. Le quartz forme fréquemment de très grands cristaux enfumés, à formes nettes, qu'il est possible d'isoler du feldspath ; la tourmaline est absente, mais les micas (muscovite et biotite), souvent intimement associés, sont constants ; dans quelques gisements (Mazataud), ils forment des accumulations considérables, rappelant celles d'Ampangabe. A plusieurs reprises, dans d'anciennes exploitations une structure concentrique a été constatée, un centre d'orthose, de béryl ou de quelques-uns des minéraux cités plus loin était entouré par des couches concentriques de muscovite et de quartz constituant des concentrations ayant jusqu'à 10 mètres cubes.

La carrière qui a fourni le plus de beaux minéraux est celle de la Vilate ; on y a trouvé des cristaux aplatis de columbite rappelant ceux du type II d'Ampangabe ; ils supportent fréquemment des cristaux de malacon ; dans d'autres gisements de la région, la columbite forme des cristaux plus gros et plus épais rappelant le type I de Madagascar ; ils sont généralement plus tantalifères que ceux de la Grande Ile.

Le grenat est beaucoup moins abondant ; il est constitué par de la véritable spessartite brun-rougeâtre qui, à la Vilate, ne se trouve pas en cristaux isolés, mais forme de grosses masses, agglomérations de trapézoèdres pressés les uns contre les autres et associés à de l'apatite verdâtre, ainsi qu'à de petits cristaux distincts de wolfram tantalifère ; ces derniers se trouvent plus rarement dans le feldspath. Enfin des sulfures, érubescite, pyrite, mispickel, sont disséminés dans beaucoup de gisements.

Le béryl [1] est, dans quelques filons (Pont de Barost) d'une abondance qui rappelle certains gisements de Madagascar ; les dimensions de ses cristaux n'étant pas moindres que celles des plus gros de ceux qui ont été décrits plus haut. Les prismes de béryl de cette région sont parfois entourés d'une zone régulière d'albite rougeâtre, enveloppée elle-même par un mélange de quartz et d'albite [2] ;

1. Ce béryl est, en général, pierreux, blanc jaunâtre ou verdâtre, mais, de temps en temps, on trouve des prismes de petites dimensions, parfaitement homogènes et transparents, d'un jaune pâle ou d'un beau jaune d'or ; j'en ai fait tailler des gemmes de plusieurs grammes, irréprochables au point de vue de la limpidité ; la variété pierreuse est recherchée par l'industrie chimique.

2. Cf. fig. 2, page 17 du tome II, de ma *Minéralogie de la France et de ses Colonies.*

j'ai observé la même particularité dans une carrière près d'Acworth (New Hampshire), la couronne périphérique était là constituée par de la cleavelandite blanche.

Mais la caractéristique différentielle la plus importante de ces pegmatites et de celles de Madagascar réside dans l'existence des phosphates, qui, au contraire, sont presque absents des pegmatites de la Grande Ile à l'exception de l'apatite. Dans le Limousin, ce minéral forme, çà et là, des cristaux de plusieurs kilogrammes, mais ce sont surtout des phosphates de fer et de manganèse (*triplite*) et de lithine (*triphyllite*) et plus rarement de soude (*alluaudite*) qui doivent être signalés. Aux dépens de ces phosphates d'origine primaire, se sont formés un grand nombre d'autres phosphates (*hétérosite, huréaulite, dufrénite, strengite, vilatéite, anglarite*) qui ont rendu célèbres ces gisements ; plusieurs d'entre eux ont été pendant longtemps ou sont encore spéciaux à la Vilate et aux Huréaux. Ces phosphates primaires ne sont pas très fréquents, mais, quand on les rencontre, c'est généralement en très grandes masses. A ce point de vue, ces gisements limousins présentent de l'analogie avec le gisement de Branchville (Connecticut), dont il sera question page 342, mais ils doivent cependant en être distingués parce que les minéraux lithiques (triplite, et, dans le seul gisement de Chabanne, amblygonite) n'y constituent qu'une très grande rareté.

β. **Scandinavie.** — *Norvège.* — Les gisements de pegmatite qui doivent surtout être comparés à ceux de Madagascar sont ceux du golfe de Kristiania, célèbres depuis longtemps par les nombreux minéraux accessoires, et particulièrement par les niobates et les titanoniobates, qu'ils renferment. Au début de ma carrière, en 1885, j'ai visité ceux qui étaient connus à cette époque ; leur nombre s'est beaucoup accru depuis lors, grâce aux beaux travaux de M. W. C. Brögger[1]. M. Brögger distingue les trois types suivants entre lesquels se produisent de nombreux passages.

Le type le plus répandu renferme comme feldspath principal ou exclusif le microcline, souvent associé en microperthite avec l'albite ; le mica est une biotite chloritisée, la muscovite et l'oligoclase ne jouent qu'un rôle subordonné. Deux variétés peuvent être distinguées, d'après la nature de leurs minéraux accessoires ; elles sont localisées au point de vue géographique.

La première se trouve sur la côte orientale du golfe, dans la région de Fredrikstad (Smålenene, Råde, Moss, etc.). La columbite, la samarskite et la monazite y sont fréquentes ; les minéraux suivants ont été observés en outre : bismuthinite,

1. *Op. cit. Zeitschr. f. Kryst.*, t. XVI, 1890, p. 202 ; et Die Mineralien der Südnorwegischen Granit-Pegmatitgänge, I, Niobate... *Kristiania, Vidensk. Selsk. Skrifter Math.-Natur. Klasse*, 1906, n° 6, p. 25.

et bismuth natif, molybdénite, pyrite, chalcopyrite, galène, etc., ilménite et magnétite, gadolinite, zircon et malacon, alvite, spessartite, fergusonite, euxénite, (rare), yttrotantalite (rare), microlite et tantalite (très rare), bröggérite et clevéite, xénotime, apatite, fluorine, parisite.

La seconde variété est extrêmement abondante dans tout le Sud-Ouest du golfe (Tvedestrand, Arendal, Hitterö, etc.); les minéraux accessoires caractéristiques sont: tourmaline noire, euxénite, blomstrandite, euxénite (polycrase, blomstrandine), gadolinite, orthite, yttrotitanite, thorite, xénotime, bröggérite et clévéite avec leurs produits d'altération, samarskite (très rare), columbite, fergusonite, wolfram, apatite, monazite, zircon, malacon, alvite, ilmenorutile, spessartite, gadolinite, hellandite, thalénite, kainosite, phénacite, thortveitite[1], orthite, ilménite, hématite, magnétite, pyrite, pyrrhotite, galène, chalcopyrite, molybdénite, bismuthinite, bismuth, or natif, fluorine, etc.

Un second type est constitué par des pegmatites à muscovite, dans lesquelles le microcline et la microperthite sont subordonnés à l'albite, l'oligoclase et l'andésine. La biotite est peu abondante ou absente. Ces pegmatites renferment d'énormes cristaux de béryl, de la topaze, de la fluorine et de la spessartite; elles se trouvent dans la partie orientale du golfe (Smålenene).

Enfin un troisième type est constitué par des pegmatites riches en tourmaline (environs de Kragerö, Bamle, etc., et Risör, Snarum et Modum).

C'est le premier type qu'il faut surtout comparer aux pegmatites malgaches, car, comme on l'a vu plus haut, dans celles-ci le type à muscovite ne paraît pas contenir de plagioclases et renferme en abondance des minéraux uranifères, aussi bien que les types dépourvus de muscovite.

Parmi les nombreux minéraux qui viennent d'être énumérés, beaucoup sont communs aux deux pays, mais d'autres se rencontrent en Norvège qui ne sont pas connus à Madagascar; ce sont les suivants (j'ai fait précéder d'une astérisque ceux qui ne se rencontrent en Norvège que dans un seul gisement): gadolinite, *hellandite, *thalénite, *kainosite, *phénacite, yttrotantalite, le groupe de l'uraninite (bröggérite, clevéite), wolfram, keilhauite, parisite, blomstrandine (remplacée à Madagascar par la priorite), xénotime. L'alvite y joue le rôle du malacon dans la grande Ile.

Par contre, à Madagascar, il existe quelques minéraux qui sont inconnus en Norvège, le groupe de la betafite tout entier, la cymophane, la gahnite; enfin la forme amazonite du microcline, si fréquente à Madagascar, paraît peu abondante en Norvège.

Suède. — Les pegmatites de la Suède sont intéressantes à signaler ici, à cause

1. Il est intéressant de faire remarquer que ce minéral n'est jusqu'ici connu qu'à Befanamo et à Iveland, où il a été rencontré pour la première fois.

de l'association à des minéraux communs avec les pegmatites de Madagascar de la *gadolinite* qui n'y a pas été trouvée jusqu'ici.

Le gisement le plus célèbre, à cause de l'influence qu'ont eue certains de ses minéraux sur le développement de la chimie des terres rares en Suède, est celui d'Ytterby [1], près Stockhom, que j'ai moi-même visité en 1885.

Entre le gneiss amphibolique et une diorite, se trouvent des filons lenticulaires de pegmatite, tantôt à très gros grain uniforme, tantôt présentant une certaine structure zonée par suite de l'existence sur les bords d'une roche à grain plus fin qu'au centre. Les feldspaths sont le microcline (associé en microperthite avec l'albite), l'oligoclase et parfois un peu d'albite indépendante. Le principal mica est la biotite, accompagnée d'une petite quantité de muscovite et de tourmaline noire.

Les minéraux accessoires sont la *gadolinite*, en gros cristaux parfois très nets (avec enduits de tengérite), l'allanite (dont une variété a été appelée wasite, alors qu'on croyait y avoir découvert un métal nouveau le wasium), la fergusonite, l'yttrotantalite, etc., une variété de cyrtolite (anderbergite), l'arrhénite, le xénotime, la fluorine, puis des minerais (magnétite, pyrrhotite, pyrite, galène, molybdénite).

Comme à Madagascar, les minéraux à terres rares sont souvent associés à la biotite et quelquefois enveloppés par elle ; leurs cristaux nets sont parfois englobés par les feldspaths.

Aux environs de Falhun, à Finbo, Brodbo et à Korarfvet, des pegmatites riches en muscovite renferment de la gadolinite, de la fergusonite, de la topaze (pyrophysalite), du grenat, associés à de l'yttrotantalite et à de la fluocérite dans les deux premiers gisements, à la heljmite (stanno-niobo-tantalate d'uranium, yttrium, fer, etc.) dans le second.

La pegmatite de Nohl, près de Kongelf, doit être signalée enfin, car elle renferme, associé à une variété de samarskite (nohlite), le minéral que Lindström a appelé *blomstrandite*, et qui me paraît analogue à celui de Tongafeno que j'ai désigné sous le même nom.

Il est à remarquer que dans tous ces minéraux scandinaves, le tantale l'emporte sur le niobium et que le titane en est absent, alors qu'à Madagascar, comme je l'ai fait remarquer déjà plus haut, les minéraux du même groupe sont plus ou moins titanifères et plus riches en niobium qu'en tantale.

Finlande. — Les pegmatites abondent en Finlande ; elles sont célèbres depuis

1. Les minéraux d'Ytterby et des environs de Falhun ont fait l'objet de beaucoup de travaux et en particulier de A.-E. Nordenskiold, P.-T. Cleve, Blomstrand et autres, je signalerai seulement une note récente de Ivar Nordenskiöld (*Bull. geol. Inst. oj Upsala*, t. IX, 1908, p. 183).

longtemps par les nombreux minéraux qu'elles renferment. Je prendrai comme exemples celles de la région de Tammela qui ont été décrites par M. Eero Mäkinen dans un mémoire auquel j'ai fait déjà plusieurs fois allusion [1].

Au milieu des gneiss, et en relation avec un granite à hornblende, ces pegmatites constituent des massifs ou des filons. Ce sont essentiellement des pegmatites à muscovite, biotite, tourmaline et béryl (densité 2,70, 2,72). De la description de l'auteur, il semble résulter qu'il existe en réalité deux types plus ou moins bien tranchés dont l'un appartient à mon groupe des pegmatites sodo-lithiques ; dans celui qui me paraît correspondre à mes pegmatites potassiques et dont le feldspath est du microcline, associé en microperthite avec de l'albite, il existe, en fait de minéraux accessoires, de l'apatite, de la gigantolite (que, contrairement à l'opinion courante, M. Mäkinen considère comme constituant des pseudomorphoses de tourmaline et non pas de cordiérite), du grenat, du mispickel, de la löllingite, de l'ilménite, de l'andalousite [2], de la columbite, de l'ainalite (cassitérite tantalifère), de l'adelpholite et surtout de la tapiolite. On retrouve donc ici, comme à Madagascar, l'association au béryl des minéraux columbite-tantalite, mais, là, comme en Suède, à l'inverse de ce qui est constaté dans la Grande Ile, c'est le type tantalifère qui domine sur le niobifère ; la columbite n'est qu'un accident, la tapiolite est le minéral prédominant. Il est intéressant, en outre, de constater que la tapiolite possède la forme et les macles pseudo-rhombiques qui sont si fréquentes dans le groupe ilmenorutile-strüvérite d'Ampagabe, Fefena, etc.

A ces minéraux il faut ajouter la triplite, la triphylite et son produit d'altération l'hétérosite ; ici, comme dans le Limousin, les minéraux lithiques n'existent qu'à l'état d'accidents minéralogiques peu importants.

L'île Kimito [3] et la côte voisine du Sud-Ouest de la Finlande sont riches en filons de pegmatite à muscovite : celles-ci renferment beaucoup de minéraux accessoires : béryl, topaze, triphylite, triplite, apatite, muscovite manganésifère bleue, molybdénite, mispickel et, dans la partie occidentale de l'île (Skogböle), tapiolite et ixionolite (tantalite stannifère), cassitérite, avec accessoirement tourmaline et sillimanite. Enfin, à Träskböle, au Sud-Ouest de Perniö, sur le continent, la pegmatite renferme de la gahnite, comme à Ambatofotsikely.

Si, en Finlande, les tantalates de fer et de manganèse sont fréquents, ceux de

1. Cf. page 258.
2. L'andalousite est un minéral insolite dans la pegmatite ; je l'ai observée dans une pegmatite à béryl de l'Ariège, associée au corindon bleu (Massif du Saint-Barthélemy), mais seulement dans des filons minces traversant les schistes micacés ; il n'est pas douteux qu'elle y soit le résultat d'une action endomorphe. Ce minéral est en effet constant sur le bord des veines quartzeuses intercalées dans ces schistes ou les traversant (*Minéralogie de la France et de ses Colonies*, I, 1893, p. 36).
3. M. Pentti Eskola, qui a donné un bref aperçu de la composition de ces pegmatites dans son travail :

terres rares sont exceptionnels ; il faut, à cet égard, citer la pegmatite d'Impilaks qui fournit un minéral, à aspect d'euxénite, qui est un silico-titanate et tantalate d'yttrium, d'uranium et de fer, renfermant environ 1 pour 100 de scandium ; c'est la *wiikite* (loranskite) de Ramsay[1].

γ. **États-Unis.** — *Virginie.* — Parmi les gisements américains de pegmatite, il en est un qui mérite d'être indiqué ici, car c'est lui qui fournit en plus grande abondance un tantalate cubique, la *microlite* [$3Ta^2O^4Ca^2$. NaF] ; ce minéral y joue le même rôle que la betafite dans les pegmatites malgaches ; il s'agit d'Amelia Court House (Amelia County). J'ai vu de beaux échantillons de minéraux de ce gisement dans la collection du professeur Watson, à l'Université de Charlottesville.

Des filons interrompus de pegmatite, traversant des gneiss très micacés, y ont été exploités pour leur muscovite ; le feldspath est du microcline blanc rosé ou de l'amazonite ; la muscovite jaune verdâtre, exceptionnellement rosée, se présente avec l'aspect ordinaire, formant des concentrations locales qui ont été exploitées.

Les minéraux accessoires sont assez nombreux : très gros cristaux de béryl pierreux, columbite en masses de plusieurs kilogrammes, manganocolumbite très tantalifère, spessartite rouge hyacinthe ou d'un brun rouge, orthite, fergusonite, monazite en cristaux pesant plusieurs kilogrammes, béryl, enfin fort peu de tourmaline, d'apatite, de galène, de stibine.

Quant à la microlite, elle constitue des octaèdres de dimensions variées pouvant atteindre 4 centimètres de diamètre et se groupant parfois comme la betafite à Ambatofotsy pour former des masses pesant plusieurs kilogrammes. Ses octaèdres sont fréquemment implantés sur le mica dont ils portent l'empreinte en escaliers, particularité qui est également fréquente dans la betafite malgache.

Par places, la pegmatite renferme des accumulations de grandes lames d'albite rappelant la cleavelandite, mais avec fréquemment une transparence assez grande. Au milieu de ces masses s'ouvrent des cryptes atteignant 1^m,50 de diamètre : elles sont tapissées ou incomplètement remplies par de magnifiques cristaux transparents d'albite atteignant jusqu'à 10 centimètres de plus grande dimension ; ils

On the petrology on the Orijarvi region in Southwestern Finland (*Bull. Comm. géol. de Finlande*, n° 40, 1914, p. 36, fait remarquer que les pegmatites à phosphates, tantalates, etc., de cette région sont, à une exception près, celles dont les filons traversent des roches basiques (amphibolites et gabbros), alors que dans les granites, les leptites, etc., le caractère pegmatique de la roche est marqué plutôt par l'irrégularité et l'hétérogénéité de la structure que par la grosseur du grain. Une semblable correspondance entre la nature des pegmatites et celle des roches traversées a été remarquée par M. H.-E. Johanssen dans les pegmatites de Suède (*Geol. För. Forhandl. Stockholm*, t. 36, 1914. p. 123). Ces observations sont intéressantes, mais elles ne présentent pas de caractère de généralité ; elles ne trouvent pas, en particulier, d'application à Madagascar (voir page 314).

1. Cf. Börgström, *Geolog. För. Forhandl. Stockholm*, t. 32, 1911, p. 1525.

sont accompagnés de cristaux de quartz enfumé et de microlite (exceptionnellement transparente), leurs intervalles sont remplis par des agrégats d'une spessartite, un peu ferrifère et calcique, rose pâle ou rose chair ; ce grenat est très fendillé ; ses fissures sont remplies par de l'helvite $[(SiO^4)^3 (Mn, Gl, Fe)^7 S]$ translucide, jaune citron ou jaune de cire. Des cristaux de phénacite ont été aussi trouvés dans ces géodes.

Texas. — A cinq milles au Sud de Bluffton, dans le Llano County, se trouve[1] un filon de pegmatite à biotite qui est remarquable par l'abondance des minéraux yttrifères et thorifères. On y rencontre des associations d'espèces qui n'existent pas à Madagascar, mais aussi des minéraux qui ont été décrits plus haut.

La fergusonite y est extrêmement abondante ; elle est accompagnée de cyrtolite[2] qui joue le même rôle que le malacon dans les gisements analogues de la Grande Ile. On y trouve aussi de l'allanite, de la fluorine, de la magnétite (martite), de la molybdénite, de l'albite et de la muscovite, mais surtout une énorme quantité de gadolinite, avec plusieurs minéraux spéciaux à ce gisement (yttrialite, thorogummite et nivéite, minéral apparenté à la clevéite de Norvège).

Caroline du Nord. — Lors de mon dernier voyage aux États-Unis, j'ai visité quelques exploitations de mica du Mitchell County qui présentent un certain intérêt au point de vue de leur comparaison avec les gisements malgaches, des minéraux à terres rares y étant associés à la muscovite. Ces gisements sont ceux des environs de Spruce Pine (Knob Mine, Wieseman Mica Mines) et de Penland (Flat Rock Mine).

Dans tous ces gisements, la pegmatite, localement très kaolinisée, est à grain extrêmement variable ; c'est dans les portions à très grands éléments que s'observent les concentrations (exploitées) de larges lames de muscovite, souvent tachées par des inclusions dendritiques de magnétite. Les niobates les plus fréquents sont la samarskite formant de très grosses masses et la columbite, accompagnées de monazite, de béryl et de grenat ; le béryl de la région de Spruce Pine est soit d'un jaune d'or (*gold beryl*) soit d'un beau bleu de ciel, très analogue à celui des pierres du Betsiriry. Ce sont donc les mêmes associations qu'à Madagascar, mais il faut y ajouter un minéral qui n'a pas encore été trouvé dans la Grande Ile, l'*uraninite* (Wiseman et Flat Rock Mines), généralement plus ou moins transformée en *gummite* et en *uranotile*[3] jaunes. Une autre particularité commune à tous ces

1. Cf. W.-F. Fontaine, *Amer. J. of Sc.*, t. XXV, 1883, p. 330.
2. W. E. Hidden et J. B. Mackintosh. *Amer. J. of Sc.*, t. XXXVII, 1889, p. 474.
3. On y trouve aussi la *rogersite* (Cf. Lawrence Smith, *Amer. J. of Sc.*, t. XIII, 1877, p. 367), formée aux dépens de la samarskite, l'*autunite*, la *phosphuranylite* également d'origine secondaire. C'est d'une de ces mines de mica — mais j'ignore de laquelle — que provient le minéral appelé par Lawrence Smith *hatchettolite* (*op. cit.*, p. 365), niobotantalate d'uranium et de calcium, qui se présente en octaèdres réguliers, comme la betafite, dont il peut être rapproché.

gisements est l'existence de la *thulite,* d'un beau rose, minéral que j'ai rencontré en France dans les mêmes conditions, dans une pegmatite de la région de Saint-Yrieix (Haute-Vienne).

δ. **Canada.** — J'ai visité en 1888 à Villeneuve (comté d'Ottawa) une exploitation de muscovite, ouverte dans une pegmatite, qui présente avec les gisements précédents la particularité de renfermer de l'uraninite, en voie d'épigénisation en gummite. La muscovite est accompagnée en outre de tourmaline, de monazite, d'almandin-spessartite et de spessartite. Quant aux feldspaths, ils sont constitués par du microcline et par une albite (péristérite) aux magnifiques reflets bleus qui rappellent, mais en beaucoup plus beau, ceux de l'albite des pegmatites d'Ambano à Madagascar.

2° *Pegmatites avec cryptes à cristaux de béryl et topaze.*

On a vu plus haut que dans certains gisements malgaches, des cryptes à cristaux se trouvent dans des pegmatites potassiques. Celles de Mahabe et de Bemainandro, qui ne me sont connues que par leurs gros cristaux de topaze, appellent une comparaison avec les pegmatites de quelques gisements fournissant le même minéral et dans les mêmes conditions.

α. **Oural**[1]. — Dans la région de Mourzinka (60 kilomètres au Nord d'Ekaterinbourg), sur la rivière Adoui, à Alabachka, à Sisikova et à Sarapoukaia, le granite gneissique est traversé par des filons de pegmatite à grandes lames de muscovite renfermant de larges cryptes que tapissent des cristaux de quartz enfumé, de microcline, d'albite, avec muscovite, spessartite, tourmaline noire, octaèdres de pyrrhite et enfin les magnifiques cristaux de béryl vert d'herbe ou bleuâtres et de topaze bleue, connus de tous les minéralogistes par la perfection de leurs formes et par leurs grandes dimensions. On a trouvé jadis des cryptes renfermant des cristaux de microcline mesurant un mètre de plus grande dimension, de béryl atteignant $1^m,50$ et une topaze qui pesait près de 30 kilogrammes.

A Alabachka, ont été signalés aussi de grands cristaux polysynthétiques de lépidolite blanche, formés de lames hexagonales plus petites, imbriquées comme les tuiles d'un toit. Je n'ai pu trouver de précision sur la question de savoir s'ils

1. Cf. G. Rose. *Reise nach dem Ural. dem Altai...,* Berlin, t. I, 1837 ; N.-V. Kokscharow, *Mater. zur Miner. Russlands,* t. I, 1853 ; Kuppfer. *La Collection minéralogique de l'École des Mines de Saint-Pétersbourg* (en russe), 1911 ; A. Fersman, *Gemmes de la Russie* (en russe), 1920.

J'écris ici les noms géographiques avec l'orthographe française traduite du russe et non pas avec l'orthographe allemande qui est généralement usitée dans les ouvrages de minéralogie.

proviennent du même gisement que les minéraux précédents, ou s'ils ne viendraient pas plutôt de pegmatites sodo-lithiques analogues à celle de Chaïtanka. Le catalogue de la collection de l'École des mines de Petrograd porte l'indication d'échantillons dans lesquels ce minéral est associé seulement à du feldspath potassique, à de l'albite et à du quartz, et en outre un échantillon (N° 225), où la lépidolite est accompagnée de quartz, d'albite et de cristaux aplatis de béryl incolore. Cette association est en faveur de la seconde hypothèse ; on la retrouvera page 348.

Comme à Madagascar, ces pegmatites sont accompagnées de filons géodiques d'améthyste ou renferment des géodes de ce minéral, et là aussi, dans ce dernier cas, l'améthyste ne se trouve pas dans les mêmes cryptes que les autres gemmes.

Plus au Sud, dans les montagnes de l'Ilmen, au Nord-Est de Miask, des filons de pegmatite granitique dont l'épaisseur varie depuis plusieurs mètres jusqu'à quelques centimètres seulement traversent la miascite.

Ces pegmatites renferment de nombreux minéraux communs à beaucoup de pegmatites de Madagascar : monazite, samarskite, ilmenorutile, columbite, malacon ; elles présentent aussi des cryptes riches en beaux cristaux ; les parois de celles-ci sont en effet tapissées d'albite en gerbes, de microcline, de quartz, de mica, de tourmaline noire, supportant de magnifiques cristaux incolores de topaze[1], d'un type cristallographique différent de celui des cristaux de Mourzinka et généralement de plus petite taille. Ils sont parfois accompagnés de cristaux d'aigue-marine[2], de rhomboèdres lenticulaires de phénacite et, très rarement, de cristaux d'ilmenorutile.

Ces pegmatites, présentant souvent la structure graphique, partagent avec celles de Mahabe la particularité d'avoir l'amazonite pour feldspath principal.

β. **Sibérie.** — Dans la région de Nertchinsk, le long de la rivière Ouroulga, dans les monts Borchtschov, se rencontrent, au milieu du granite, des pegmatites creusées de cryptes dont les cristaux de béryl offrent une très grande ressemblance avec ceux des environs de Mourzinka. Il est vraisemblable que ce sont elles ou des cryptes analogues qui fournissent les beaux cristaux de topaze ambrée de cette région qui ne sont connus qu'isolés de toute gangue.

Dans la même région, les célèbres gisements d'Adoun Tchilon méritent une

1. Exceptionnellement, la topaze constitue un élément de la pegmatite elle-même ; dans les cryptes, elle englobe parfois de fines aiguilles de tourmaline noire.

2. L'*émeraude* de l'Oural (Tokojava, au Nord-Est d'Ekaterinbourg) se trouve dans un tout autre genre de gisement, dans un micaschiste, où elle est associée à la cymophane et à la phénacite.

mention spéciale; ils se trouvent dans des montagnes de granite très altéré et consistent en de grandes druses ou en filons uniquement constitués par le quartz et la topaze avec un peu de wolfram, de fluorine, de mispickel (en partie transformé en scorodite). De vastes cavités, remplies ou incrustées par de la limonite ou de l'argile, sont tapissées par de longs cristaux de béryl bleu, vert ou jaune, très cannelés suivant l'axe vertical et souvent enchevêtrés, puis par des cristaux de topaze et de quartz enfumé. Ces minéraux sont trop connus de tous les minéralogistes pour qu'il y ait lieu d'insister à leur sujet.

Il s'agit là de filons dans la genèse desquels les agents pneumatolytiques ont joué un rôle prédominant; si la description qui en a été donnée est complète, ils sont remarquables par l'absence de tout minéral feldspathique.

Peut-être n'est-il pas inutile de rappeler que ces gisements, découverts en 1723, ont été longuement décrits pour la première fois par un minéralogiste français Patrin qui les a visités en 1785. Malgré l'abondance des détails qu'il a fournis[1], ceux qui l'ont suivi ont omis de citer ses observations; il n'en est pas question dans les mémoires de Kokcharov[2] qui a donné pour toute référence un mémoire de Koulibin datant de 1826.

D'après Patrin[3], les diverses couleurs de béryl seraient caractéristiques de filons différents. Il est à noter que, d'après lui, le filon fournissant les béryls bleus et le mispickel et se trouvant sur le sommet de la montagne est encaissé, non par le granite, mais par une pegmatite graphique. Il indique qu'au moment où ils sont retirés de leur gangue, les cristaux de béryl peuvent être facilement brisés par une simple flexion. En outre, certains d'entre eux se brisent en donnant comme cassure une calotte sphérique très régulière, à laquelle serait tangente la base du cristal. Parfois même, par fracture, il est possible d'obtenir une sorte de lentille régulière, alors que dans d'autres cas par le choc qui fait disparaître les faces du prisme, il se produit un solide cylindrique terminé par les calottes sphériques précitées. Cette observation est intéressante en ce qu'elle est comparable à celle qui est consignée dans l'appendice de ce volume au sujet de la tourmaline de Maharitra qui se brise de la même façon. En terminant, je signalerai que Kokcharov indique l'existence d'une amphibole comme minéral accessoire de ces gisements de béryl; il y aurait un grand intérêt à savoir de quel type amphibolique il s'agit.

1. Suite d'un voyage en Daourie. *J. de Physique*, t. XXXVIII, 1791, p. 289, et *Histoire naturelle des minéraux*, t. II, an. IX, p. 24.

2. *Op. cit.*, I, 1853, p. 165 ; Koulibin. Beschreibung des Adun-Tschilonschen Gebirgszuges. *Bergjournal*, t. IV, 1829, p. 89.

3. Au point de vue historique, le voyage de Patrin à Adoun Tchilon présente un autre intérêt ; c'est l'étude des cristaux de béryl qu'il en a rapportés qui ont conduit Vauquelin à la découverte de la *glucine*.

γ. **États-Unis.** — *Colorado.* — Les pegmatites du massif de Pike's Peak sont remarquables par l'abondance des cryptes dont certaines fournissent les cristaux d'*amazonite* qui ont rendu célèbre cette région. Ce microcline vert y est accompagné d'albite, de quartz enfumé, de très beaux cristaux de topaze dont les dimensions atteignent jusqu'à un décimètre, et enfin de cristaux plus petits de phénacite.

Les environs de Florissant, à 12 milles au Nord-Ouest du pic Devil's Head Mountain (Platte Mountain) ; 30 milles au Nord du pic, Crystal Park au Sud de Manitou sont les localités principales à citer[1].

On a signalé en outre à Crystal Park des cristaux de zircon, à Devil's Head Mountain des cristaux de muscovite, de cassitérite, de fluorine, de göthite, etc.

Là comme partout ailleurs, les cristaux autres que ceux de feldspaths sont souvent recueillis à l'état fragmentaire dans une argile blanche remplissant les cavités.

Maine. — J'ai visité le gisement célèbre situé au Sud-Ouest de Stoneham, guidé par M. Geo. F. Kunz qui l'a décrit le premier[2]. Sur le haut de Harndon Hill, a été exploitée une pegmatite à muscovite (à lames parfois bombées) ; elle renferme un peu de tourmaline noire, d'almandin, de béryl, de topaze pierreuse, de triphyllite, de triplite et d'apatite; par places, le quartz est parfaitement hyalin, comme dans certaines pegmatites de Madagascar. Çà et là, on observe des taches de cleavelandite, au milieu desquelles se trouvent des druses tapissées par de bons cristaux de muscovite, de topaze incolore (avec souvent une teinte bleuâtre ou verdâtre), d'apatite, de columbite, de fluorine, plus rarement associés à la herdérite[3] $PO^4Ca\,[Gl(OH.F)]$, à la bertrandite $[Si^2O^7Gl^2\,(Gl.OH)^2]$ et à la hamlinite $[(PO^4)^2\,AlSrH.Al^2\,(OH)^6]$, minéraux inconnus dans la Grande Ile.

δ. **Brésil.** — Le Brésil, qui, comme Madagascar, est un pays où les phénomènes latéritiques à divers degrés sont intenses, est connu depuis longtemps par ses gemmes et notamment par ses belles tourmalines lithiques de couleur fort variée : ces minéraux proviennent surtout du Nord-Est de l'État de Miñas Gerães et notamment des districts de Miñas Novas et de Diamantina.

Les tourmalines vertes, rouges, bleues, souvent zonées, abondent surtout dans le bassin inférieur de l'Arassuahy, du Jequitinhonha, et du cours supérieur du Rio

1. Cf. Whitman Cross and W.-F. Hillebrand. Contributions to the Mineralogy of the Rocky Mountains. *U. S. Geol. Surv.*, 1889. *Bull.* n° 20, p. 69.
2. *Amer. J. of Sc.*, t. XVII, 1884, p. 212, et *Gems and precious stones*, 1890, p. 69, p. 92. Cf. aussi Bastin, *op. cit.*, p. 100.
3. La *béryllonite* $[PO^4GlNa]$ a été trouvée dans les éluvions d'un filon de pegmatite de la même région.

Doce; elles sont recueillies non en place, mais dans les alluvions ou dans le cascalho, conglomérat ferrugineux d'origine latéritique. Le triphane, jaune ou vert, la topaze, blanche ou bleue, se trouvent dans les mêmes conditions dans le bassin de l'Arassuahy, le béryl bleu et vert à Piauhy, près de l'embouchure de l'Arassuahy, au Nord de Boqueirão, de Porteiras et de Salinas, dans le district Theophile Ottoni; enfin la cymophane abonde dans les rivières de Piauhy et de Calhau.

Ces renseignements sont connus depuis longtemps, mais aucune précision ne peut être apportée sur l'ensemble des gisements en place de ces gemmes. Max Bauer indique[1] d'une façon vague qu'elles proviennent de pegmatites, riches en mica, muscovite et lépidolite, traversant les gneiss et les micaschistes et renfermant des géodes riches en cristaux de quartz, de cassitérite et de columbite. Par analogie avec tous les faits décrits plus haut, il me paraît vraisemblable que le béryl, en cristaux très allongés suivant l'axe vertical et appartenant à la variété légère, ainsi que la cymophane ne proviennent pas du même type de pegmatite que les autres minéraux cités plus haut. J'ai d'ailleurs un commencement d'information au sujet de ces derniers (Cf., page 347).

Comme Salinas fournit à la fois du béryl bleu et des tourmalines lithiques, il est probable que, de même que dans la vallée de la Sahatany, des filons de pegmatites potassiques à muscovite y accompagnent les pegmatites sodo-lithiques.

M. O. R. d'Albuquerque m'a donné quelques renseignements intéressants sur des pegmatites dépourvues de cryptes qui sont exploitées soit pour le béryl bleu, soit pour la muscovite dans le district de Piranga, à une cinquantaine de kilomètres à l'Est d'Ouro Preto et dans le district de Guanhães, au Sud de Diamantina; le feldspath de la pegmatite est généralement kaolinisé. Dans le premier district, les minéraux accessoires sont la columbite, le grenat, la tourmaline et le bismuth natif; dans le second, où l'on trouve des cristaux de béryl longs de plusieurs mètres, il faut signaler en outre la fluorine et l'association de la fergusonite au malacon, comme à Fiadanana.

Près de la mine d'or de San Miguel de Piracicuba (Miñas Gerães), une pegmatite très altérée, riche en muscovite, et renfermant: monazite, columbite, zircon, pyrite, hématite et une petite quantité de tourmaline et d'almandin, est creusée de cryptes que tapissent de gros cristaux d'amazonite, de quartz enfumé ou hyalin et surtout une grande abondance de gros cristaux de *phénacite*[2], les plus beaux qui soient connus. Il est à remarquer l'absence complète du béryl et de la topaze.

1. *Edelsteinkunde*, Leipzig, 1909, p. 419.
2. Hussak. *Centralblatt f. Miner. Petr...*, 1909, p. 268.

Très différent est le gisement de la topaze jaune qui ne provient pas de pegmatites : ses cristaux se rencontrent au Sud-Ouest d'Ouro Preto, englobés dans une argile blanche ou jaune, avec quartz hyalin et enfumé, tourmaline noire, rutile, zircon, hématite, fer titané et plus rarement euclase, florencite. Tous ces minéraux résultent de la désagrégation de druses quartzeuses ouvertes dans des schistes associés à l'itacolumite. Il est difficile de préciser leur origine. M. Orville Derby a proposé[1] comme explication l'hypothèse d'un filon d'une roche éruptive alcaline qui aurait été entièrement décomposée.

ε. **Japon.** — Dans l'île de Mino au Japon, à Takayama et à Naegi[2], près Wakayama, des filons de pegmatite sont creusés de cryptes que tapissent des cristaux de quartz, de microcline, de muscovite, de béryl bleu, sur lesquels sont implantés parfois d'admirables et fort gros cristaux incolores et transparents[2] de topaze.

C'est dans la pegmatite de Naegi que se trouve le minéral (*naégite*), voisin du malacon, dont il est question page 241 du tome I.

c. — **Pegmatites sodo-lithiques.**

1° Généralités.

Ces pegmatites sont essentiellement caractérisées par l'abondance de l'albite associée au microcline et par l'existence de minéraux lithiques, ainsi que par la fréquence de minéraux manganésifères plutôt que ferrifères. Les pegmatites sodo-lithiques malgaches sont des pegmatites à tourmaline ; les micas en sont souvent absents ; ou ils n'y jouent qu'un rôle peu important et dans ce cas sont surtout lithiques.

Je ne connais que deux exceptions à cette règle ; à Ampangabe et au Nord-Est de Soarano, de grandes lames de lépidolite ont été rencontrées dans une pegmatite à muscovite, mais je n'ai pas de précision sur les relations de ces deux micas, ni la certitude qu'ils proviennent bien des mêmes filons[3].

Le *quartz* est gris ou enfumé, jamais rose, au moins dans les gisements que j'ai observés. Il ne forme pas ces énormes masses qui sont si caractéristiques de

1. *Amer. J. of Sc.*, t. XI, 1901, p. 25.
2. Tanashiro Wada. *Minerals of Japan*, Tokio, 1904, p. 94.
3. De même je n'ai pas de précision sur la tourmaline verte qui aurait été trouvée dans la muscovite d'une pegmatite à Manakana.

certaines pegmatites potassiques, mais, comme dans celles-ci, il est fréquemment groupé en association graphique avec le microcline.

Le *microcline* est d'un beau blanc de lait, parfois un peu translucide (Maharitra); il lui arrive d'être teinté de vert plus ou moins bleuâtre ou d'être constitué par de la véritable *amazonite* d'un vert vif. L'examen microscopique montre qu'il possède parfois la structure quadrillée, mais que plus souvent il ne présente que la macle de l'albite, à l'exclusion de celle du microcline.

L'étude des propriétés optiques du microcline des pegmatites sodo-lithiques est intéressante en ce qu'elle permet d'y constater toutes les variétés possibles des macles caractéristiques de ces feldspaths. Elles sont indépendantes de la coloration du minéral (microcline blanc ou amazonite).

Le quadrillage régulier, formé par l'entrecroisement des macles de l'albite et du microcline, se présente en particulier à Maharitra (amazonite), Ambalaroy, Tompobohitra, Tsilaizina, Andohafiakarana, Sahaforona (amazonite); ces macles sont à éléments plus ou moins larges. A Tompobohitra, on voit par places l'une ou l'autre des macles prédominer ou même exister seule. A Maharitra, il est fréquent de rencontrer des plages, où prédomine la macle de l'albite, associée par places à un quadrillage très fondu. A Antaboaka, il existe des échantillons presque dépourvus de macles; celles-ci n'apparaissent que par petites taches. A Imody, les macles quadrillées sont extrêmement fines et entremêlées de grandes plages à structure homogène.

Trois gisements : Anjanabonoina (amazonite), Antandrokomby et Manjaka m'ont fourni des microclines dans lesquels seule existe la macle de l'albite. A Antandrokomby, les deux orientations de celle-ci ont à peu près la même importance, mais les bandes sont discontinues. L'ensemble donne l'impression de l'emboîtement de deux individus distincts. C'est l'aspect fréquent du microcline de certaines syénites sodiques.

A Anjanabonoina, le microcline a souvent un aspect homogène avec quelques bandes de la macle suivant la loi de l'albite, une des orientations prédominant énormément sur l'autre. Cette variété est constituée par l'amazonite; ses cristaux sont quelquefois bordés par une étroite zone blanche possédant la même orientation, mais dans laquelle s'observe une structure quadrillée, à éléments extrêmement fins.

A Manjaka, les macles de l'albite sont à éléments très menus, avec plages nuageuses d'apparence homogène.

Il n'est aucun de ces microclines qui ne renferme des inclusions d'albite; celui d'Anjanabonoina est peut-être celui qui en contient le moins (sous forme de petites taches dans les sections p).

D'ordinaire, l'albite des microperthites n'est visible qu'au microscope, mais dans celui de Sahaforona, elle est aussi nettement visible à l'œil nu que dans la *perthite* classique de Perth (Canada). Ici, l'albite apparaît en blanc sur le fond vert du microcline. Dans p, ce sont des sortes de rubans minces sinueux dont l'allongement est grossièrement perpendiculaire à g^1 ; dans g^1, ces mêmes rubans sont grossièrement parallèles à l'axe vertical, mais avec cependant tendance à faire avec lui un certain angle dans l'angle aigu ph^1. Les individus de l'albite n'ont du reste pas de faces planes, ils se présentent comme s'ils constituaient des surfaces irrégulières aplaties suivant h^1 et oscillant entre le plan h^1 et une face o^x du microcline.

En dehors de ces perthites, l'albite constitue des cristaux microscopiques aplatis suivant g^1, qui sont englobés par le microcline, ou bien des cristaux blancs de lait, de même forme, maclés suivant les lois de l'albite et de Carlsbad et pouvant parfois atteindre plusieurs centimètres de longueur (*cleavelandite*) (Anjanabonoina, Tsilaizina) : il lui arrive aussi, dans les portions de filons à éléments moins gros, de remplacer presque complètement le microcline. Ces zones très albitiques sont souvent concentrées sur le bord des filons (Manjaka) ou bien elles constituent des apophyses minces, à grain fin, pénétrant dans les roches encaissantes (Antsongombato).

Les *tourmalines* les plus abondantes appartiennent au type lithique. Ce sont des variétés rouges, roses ou jaunes, souvent zonées et c'est surtout, dans des zones de cristaux d'autres couleurs qu'apparaissent les variétés vertes. De grands cristaux de ces tourmalines sont fréquemment enveloppés dans le quartz (Maharitra).

La tourmaline noire appartient à un type ferreux passant au lithique ; elle est généralement bleue en lames minces, tantôt elle est indépendante, tantôt, mais plus rarement, elle est associée aux variétés de couleur claire. Les tourmalines sont fréquemment concentrées sur le bord des filons et parfois alors implantées normalement aux épontes.

Les *micas*, sauf une exception (Antaboaka), sont peu abondants, et inégalement répartis, mais ils peuvent, dans quelques cas, se concentrer en certains points d'un filon. La *lépidolite* ne se trouve que rarement en petites paillettes, de couleur rosée, sous la forme connue dans la plupart de ses gisements étrangers à l'île ; le plus souvent, elle constitue de grandes lames, pouvant avoir plus d'un décimètre de diamètre ; rarement incolores (Antaboaka), elles sont plus souvent d'une belle couleur lilas (Maharitra, Antsongombato, etc.). La *zinnwaldite*, également en grandes lames, est plus rare et de même la biotite (Maharitra) ; je ne connais qu'un exemple (Antaboaka) de muscovite et celle-ci est lithique.

Le seul *grenat* observé est la *spessartite*, jaune orangé ou brun rouge.

Le *béryl* présente toute la gamme de composition, depuis le béryl normal de faible densité (Tsilaizina), jusqu'aux types les plus riches en alcalis et par suite les plus denses (Maharitra, Anjanabonoina) ; ces derniers sont les seuls qui se rencontrent dans les druses, alors que les types légers ne se trouvent que comme élément normal de la pegmatite, mais ils ne s'y observent jamais en énormes cristaux comme dans les pegmatites potassiques. Il ne forme que des cristaux raccourcis suivant l'axe vertical ou aplatis suivant la base et dépassant rarement un décimètre de plus grande dimension. Leur couleur la plus habituelle est le rose plus ou moins intense, rosée ou incolore ; les variétés vertes sont exceptionnelles et fréquemment associées aux roses dans un même cristal (Vohimasina), je ne connais de variété bleue qu'à Antaboaka. Assez rarement le béryl césifère est opaque, blanc laiteux ou teinté de rose (Maharitra).

Dans quelques gisements (Antsongombato, Antandrokomby), le *triphane* est un élément normal de la pegmatite ; il peut même devenir aussi abondant que le feldspath (Manjaka). Il est généralement associé à la rubellite de couleur foncée. C'est encore dans ce type de pegmatite que j'ai rencontré la *danburite* (Antandrokomby), et la *rhodizite* (Manjaka. Antandrokomby) comme éléments de roche.

L'*apatite* est fréquente, soit en très gros cristaux verts, associés au béryl rose (Maharitra), soit en petits cristaux blancs accompagnant la tourmaline noire (Tsilaizina), soit enfin en cristaux d'un bleu de Prusse intense ; cette variété est surtout fréquente dans les portions albitiques à grain fin ou à grain moyen. des pegmatites à rubellite dominante (Manjaka, Antsongombato, etc.).

Quant aux titano-niobates uranifères (*blomstrandite*), je ne les connais qu'en cristaux de moins d'un millimètre ; la *manganocolumbite* (Manjaka), la *columbite* (Anjanabonoina) et l'*euxénite* (Vohimasina) sont encore plus rares et ne sont connues que dans un seul gisement et encore à l'état accidentel.

On peut distinguer dans ces pegmatites deux variétés :

1° Dans quelques-unes d'entre elles, les tourmalines lithiques polychromes sont uniformément réparties et, parmi elles, prédomine la rubellite de couleur foncée (Antandrokomby, Manjaka, Antsongombato) ; c'est le type le plus lithique, renfermant le triphane, la rhodizite ; la tourmaline noire est généralement rare ou même absente.

2° Dans un autre type au contraire, la tourmaline noire est abondante, mais elle n'est pas distribuée avec les tourmalines polychromes, ni avec les micas lithiques qui sont les satellites de ces dernières ; elle est localisée dans des portions distinctes de la roche, souvent plus quartzeuses, riches en apatite et en spessartite et dépourvues de cryptes (Maharitra).

Toutes ces pegmatites sont en général très hétérogènes au point de vue minéralogique ; c'est ainsi par exemple qu'à Maharitra, où la grande masse de la pegmatite est dépourvue de mica, on a trouvé aux alentours des cryptes, des agglomérations de lépidolite en petites lamelles blanches, tantôt associées à de petits cristaux de tourmaline, d'un bleu presque noir, ou à de gros prismes de rubellite et ces amas de lames donnent l'apparence d'un micaschiste. De même dans un des filons d'Antsongombato, les larges lames de lépidolite lilas sont extraordinairement abondantes en certains points et manquent partout ailleurs. De même encore à Manjaka, la tourmaline, la rhodizite, l'apatite bleue, l'albite se concentrent sur le bord du filon, mais forment des combinaisons différentes dans les divers points considérés.

Une caractéristique des pegmatites sodo-lithiques réside dans la fréquence de la structure miarolitique ; à ce point de vue, Tompobohitra mérite une mention spéciale ; les druses y sont extraordinairement nombreuses [1], tapissées de cristaux de quartz, de microcline, de tourmaline d'un noir bleuâtre ou rouge, souvent zonée ; dans d'autres cas, les géodes sont moins nombreuses, mais plus grandes (Manjaka, Antsongombato) ; enfin, plus rarement encore existent les véritables cryptes, remarquables par l'abondance, les grandes dimensions et la beauté des cristaux qui les tapissent ; quelques gisements de la vallée de la Sahatany, Ankitsikitsika, Marirano, Ampantsikahitra et surtout Maharitra ont été remarquables à ce point de vue.

Je prendrai le gisement de Maharitra pour exemple. Les cryptes y ont été trouvées près de la surface surtout au début de l'exploitation ; elles étaient disposées sans régularité, et d'ordinaire sur le bord des filons.

Cryptes à cristaux. — Sans être très altérée, la pegmatite de Maharitra est assez friable, mais au voisinage des cryptes, sa cohésion devient plus grande ; lors de l'exploitation, les travailleurs malgaches avaient bien remarqué cette particularité, car ils donnaient à ces portions plus dures le nom significatif de *vato mirindrana* (pierre qui ferme le tombeau) ; cette zone plus résistante est constituée par l'enchevêtrement, avec une texture plus serrée, des minéraux normaux de la roche : microcline blanc laiteux, quartz jaune et enfumé, tourmaline noire qui, peu à peu, est remplacée par des tourmalines lithiques [2], zonées de rose et de bleu vert clair, en même temps qu'apparaît la lépidolite ; ces minéraux revêtent les parois

1. Par leur abondance et leur distribution dans la roche, elles m'ont rappelé les druses du granite des Mourne Mountains.

2. J'ai vu de grands cristaux de tourmaline, noirs à l'extrémité engagée dans la pegmatite, devenir rouges dans la paroi d'une crypte et dans la cavité de celle-ci. Les tourmalines noires sont rares dans les cryptes.

des cryptes de leurs magnifiques cristaux. Leur cristallisation a été simultanée ; ils s'enveloppent mutuellement. Les figures 3 et 2 de la planche 19 du tome I montrent des prismes de tourmaline lithique, implantés sur des cristaux de quartz ou englobés par eux. Il était fréquent de trouver un angle de la cavité traversé par un cristal de tourmaline, engagé par ses deux extrémités dans deux cristaux de la paroi (feldspaths ou quartz), sa partie médiane restant libre. Il est important de constater que ces cristaux drusiques de quartz ont cristallisé sous la forme α, c'est-à-dire au-dessous de 575° C.

Fréquemment, à la fin de la cristallisation du microcline, la proportion de l'albite qui existe normalement dans la roche a été en augmentant, puis ce feldspath a été le seul à se produire. La surface des cristaux de microcline enveloppe souvent en effet l'une des extrémités de cristaux transparents d'albite qui s'épanouissent librement dans la crypte. Le même phénomène est plus saisissant lorsque le microcline appartient à la variété d'amazonite d'un beau vert tranchant sur le blanc de l'albite et le rose de la rubellite qui lui est associée. Cette albite est parfois laminaire suivant g^1 (cleavelandite). Des aiguilles de tourmaline d'un rose pâle sont fréquemment couchées à plat sur les cristaux de microcline et incrustées seulement dans leur partie superficielle.

Il faut conclure de tous ces faits que les derniers fluides qui ont circulé dans le filon étaient très riches en sodium et en même temps en bore ; la quantité de tourmaline trouvée dans certaines cryptes a été en effet considérable ; certaines d'entre elles ont fourni jusqu'à 20 kilogrammes de cristaux drusiques de tourmaline rose de toutes dimensions ; j'ai vu l'un d'eux qui pesait $5^{kgr},84$.

Parmi les minéraux qui se sont formés dans ces druses, il faut citer, à côté des cristaux de tourmaline généralement polysynthétiques (Tome I, pl. 19, fig. 5) offrant une grande variété de couleur, de beaux cristaux de feldspaths, des cristaux de quartz atteignant $0^m,25$ de longueur (Tome I, pl. 26, fig. 5), des cristaux de béryl rose, de danburite, de hambergite, des lames de lépidolite.

Les gros cristaux de quartz sont souvent encapuchonnés et formés par le groupement à axes parallèles de plusieurs individus assez transparents pour que l'on puisse voir à travers leurs faces les minéraux qu'ils ont englobés ; il n'est pas rare de constater qu'à la fin de leur cristallisation, ils ont subi des arrêts de développement ; sur certaines de leurs faces, qui sont restées en creux, se sont déposés de petits cristaux de rubellite, de bityite et de lépidolite qui manquent sur les faces normalement développées (Tome I, pl. 18, fig. 3 et 4).

Certaines de ces cryptes ont été trouvées vides ; au moment de leur ouverture, leurs parois apparaissaient hérissées de cristaux, mais c'est là le cas le moins fréquent ; le plus souvent une partie au moins de la cavité est remplie par divers

produits. Il faut signaler en particulier des agrégats de petites paillettes de lépidolite blanche ayant l'aspect du talc, englobant des tonnelets de bityite, et des cristaux très plats d'albite ; d'autres fois les minéraux en gros cristaux sont recouverts par des buissons de petites aiguilles, très frêles (Tome I, pl. 20, fig. 6), de rubellite, d'un rose tendre, d'une délicatesse extrême, au milieu desquelles sont comme suspendues de petites rosettes de bityite. Tous ces minéraux sont de formation postérieure à ceux des mêmes espèces constituant les gros cristaux de la paroi des cryptes.

Plus souvent encore, les cryptes sont partiellement remplies par de l'halloysite blanche ou rosée, au milieu de laquelle les cristaux des parois se trouvent isolés, brisés par des actions mécaniques : dans ce cas, l'argile résulte certainement d'un phénomène d'altération secondaire dû à des infiltrations, mais il n'en est pas toujours ainsi, car, à Maharitra, à Ampantsikahitra et à Antandrokomby, on a trouvé de gros cristaux de rubellite foncée, bipyramidés (Tome I, fig. 310, p. 416), englobés dans une *palygorskite,* plastique à l'état humide, dans laquelle ils semblent avoir cristallisé.

En terminant, je dois signaler que j'ai rencontré des cristaux allongés et enchevêtrés de trémolite, implantés sur des cristaux de microcline ; leur origine doit être rapportée aux actions endomorphes des calcaires encaissant cette pegmatite.

Phase de pneumatolyse destructive.

Corrosion limitée aux cryptes. — Jusqu'à cette période de formation de la roche, il semble que les phénomènes de cristallisation se soient produits d'une façon continue, avec seulement des changements de composition chimique dans les fluides circulant dans le filon ; ces phénomènes ont été essentiellement constructeurs. Mais il est arrivé un moment où est intervenue une discontinuité ; les minéraux ainsi formés ne se sont plus trouvés en équilibre avec le milieu. Ils ont subi alors des corrosions et des transformations.

Les grands cristaux de microcline ont été profondément corrodés, attaqués, en particulier suivant leurs plans de clivage ; ils ont été transformés en une sorte de squelette fragile, creusé de cavités sinueuses, dont les parois sont plus ou moins épigénisées en albite, géométriquement orientée sur le cadavre du cristal primordial. Les cavités ainsi creusées dans celui-ci sont devenues autant de petites géodes, que tapissent de fines aiguilles de rubellite, des paillettes de lépidolite et surtout de la variété lamellaire de bityite dont les rosettes forment d'autres fois une couverture continue à des cristaux de microcline moins attaqués ou à des cristaux de tourmaline (tome I, planche 18, figure 6).

La lépidolite étant très riche en potassium, il est visible que cet alcali a été emprunté au microcline détruit.

C'est à cette dernière phase qu'il y a lieu de rapporter la formation d'un fort bel échantillon que j'ai recueilli sur les haldes de Maharitra et qui est constitué par de gros cristaux de rubellite brisés, englobés dans des cristaux de calcite qui présentent des plans de séparation suivant la base, parallèlement à laquelle sont géométriquement orientées des lamelles de bityite ; celles-ci supportent à leur tour de très petites aiguilles de tourmaline rosée, presque incolore, aiguilles qui tapissent aussi toutes les cavités de la calcite. L'origine pneumatolytique de ce carbonate n'est donc pas douteuse.

On remarquera le manque de production du quartz dans cette phase de corrosion ; je n'ai trouvé ce minéral que dans l'échantillon de trémolite dont il a été question plus haut ; cette amphibole est en effet transformée en quartz grenu que recouvrent de très petits cristaux de rubellite et d'albite.

Corrosion diffuse. — Les phénomènes de corrosion qui viennent d'être décrits, et qui ont été rencontrés à Maharitra uniquement dans les cryptes, ne sont pas les seuls que l'on observe dans les pegmatites lithiques.

Dans le filon d'Antandrokomby, j'en ai trouvé d'autres qui se sont produits dans la masse même de la pegmatite. Ils sont essentiellement caractérisés par la formation, non plus de tourmaline rose, comme à Maharitra, mais d'une rubellite d'un rouge vif uniforme, parfois clair lorsque les cristaux sont très petits ; ils sont toujours allongés suivant l'axe vertical et appartiennent au mode hexagonal : ils sont terminés à l'une des extrémités par e^1 $(02\bar{2}1)$, à l'autre par p $(10\bar{1}1)$ et b^1 $(01\bar{1}2)$.

Albitisation. — Parfois la roche est imbibée par de l'albite secondaire ; ce feldspath n'est pas orienté sur le microcline et j'ai recueilli des nodules de quelques centimètres de diamètre formés par l'enchevêtrement de lames translucides d'albite atteignant 5 millimètres ; elles sont aplaties suivant g^1, maclées suivant les lois de l'albite et de Carlsbad ; des formes nettes apparaissent dans les intervalles miarolitiques.

Plus souvent, l'albite est orientée sur le microcline, dont elle a la couleur d'un blanc grisâtre avec aspect de porcelaine, de telle sorte que le microscope est nécessaire pour spécifier ce feldspath sodique. Mais lorsque dans une cavité, le microcline présente des formes géométriques, ses faces sont couvertes d'un grand nombre de cristaux non aplatis d'albite, orientés à axes parfois imparfaitement parallèles. Les faces du microcline prennent ainsi un aspect crêté (Tome I, pl. 26, fig. 3) ; les sections minces de l'un des clivages montrent que les cristaux d'albite néogène ne sont pas toujours rigoureusement parallèles, ils se prolongent

dans le microcline sous forme de veinules ; c'est la stricte reproduction des épigénies que j'ai jadis décrites dans les pegmatites des environs d'Arendal (Norvège).

Albitisation et tourmalinisation. — Plusieurs modalités doivent être distingués dans ce genre de formation.

a) J'ai recueilli de beaux échantillons de pegmatite constitués par des cristaux de microcline, de tourmaline brune, englobés dans du quartz ; ces deux derniers minéraux sont intacts ; chaque cristal de microcline est entièrement transformé en un cristal unique d'albite, à grandes macles régulières suivant la loi de l'albite, colorées en carmin par de la rubellite dont de petits cristaux nets apparaissent çà et là, dans des druses minuscules. Une partie des cristaux de rubellite est orientée parallèlement à l'axe vertical de l'albite ; d'autres sont distribués sans ordre ; enfin, il existe des rosettes, souvent irrégulières, de prismes de rubellite très fins et serrés à partir du centre dont ils divergent ; ils se terminent généralement dans l'albite par des pointements distincts. Dans ce cas, à la couleur près, cette tourmaline fait penser à celle de la luxulianite ; elle en diffère cependant parce qu'il n'y a pas de quartz et parce que la rubellite ne devient jamais filiforme.

Une autre modalité de la transformation consiste dans le remplacement du microcline par un agrégat miarolitique de cristaux non orientés d'albite et de rubellite.

Enfin, j'ai observé aussi, et cela uniquement dans des druses, des cristaux de rubellite implantés sans ordre sur ou dans l'albite orientée sur le microcline.

Tourmalinisation. — La production de la rubellite n'est pas accompagnée nécessairement de l'albitisation du microcline ; j'ai recueilli d'assez nombreux cristaux intacts de microcline dont les faces sont recouvertes d'une mosaïque de cristaux de rubellite ; la surface des cassures des cristaux de microcline brisés est aussi recouverte par le même minéral.

Tourmalinisation et quartzification. — Dans ce cas, le microcline est traversé ou remplacé par un agrégat de quartz et de rubellite ; les proportions relatives de ces deux minéraux sont très variables, le quartz prédominant toujours beaucoup et finissant parfois par exister seul[1] ; il est translucide ou transparent, souvent un peu jaunâtre ; ses cristaux ont des formes nettes, mais généralement ternes. C'est dans cette catégorie de produits de corrosion que les cristaux de rubellite sont le plus gros et par suite le plus foncé ; ils peuvent atteindre près d'un centimètre.

J'ai recueilli un bloc dans lequel la tourmaline ne forme que des enduits de

1. Peut-être faut-il faire intervenir dans ces phénomènes de corrosion, où l'on voit se former souvent beaucoup de quartz, la propriété attribuée par Arrhenius (*op. cit.*) à l'eau d'avoir au-dessus de 365°C., une acidité supérieure à celle de la silice, il peut donc à haute température exister de la silice combinée à l'eau (SiO^3H^2) en présence de bases libres ; quand la température tombe au-dessous du point critique, le quartz cristallise.

cristaux, peu distincts à l'œil nu ; ils sont recouverts par des croûtes de *manandonite*. Ce même minéral constitue aussi dans le quartz des agrégats de lamelles nacrées : il est très nettement postérieur, à la fois au quartz et à la rubellite et il n'est pas impossible qu'il se soit formé aux dépens de cette dernière ; il joue le rôle de la cookéite dans les gisements américains qui seront décrits plus loin.

Je signalerai encore un échantillon constitué par du triphane rosé translucide, englobé dans du microcline et séparé de celui-ci par une mince zone de quartz et de rubellite formés par corrosion.

Enfin, j'ai recueilli un échantillon de triphane jaune, brisé et traversé par un agrégat grenu de quartz et de tourmaline ; celle-ci, au lieu d'être constituée par la rubellite comme dans tous les cas précédents, est de couleur brune ; c'est la forme sous laquelle ce minéral accompagne le quartz à la périphérie de très grands cristaux de triphane et quelquefois de microcline dans les filons de Manjaka et d'Antsongombato. J'estime qu'il s'agit là encore d'un phénomène de corrosion.

Dissolution, puis recristallisation de quartz et de tourmaline. — J'ai observé à Maharitra une pegmatite graphique dont le microcline est intact, mais dont une partie du quartz a été dissous, laissant des cavités irrégulières dans lesquelles ont cristallisé, de loin en loin, du quartz et de la rubellite rose (Voir page 346 pour un cas de semblable dissolution, mais sans recristallisation).

β. **Mode de gisement.** — Les pegmatites sodo-lithiques se trouvent plus rarement au milieu du granite (Vohimasina) que les pegmatites potassiques ; le plus souvent, on les rencontre en filons à la périphérie des massifs granitiques et presque toujours dans la série quartzito-calcaire. On a remarqué que dans la vallée de la Sahatany, en particulier, ces filons traversent les calcaires, alors qu'en général les pegmatites potassiques sont surtout encaissées par d'autres roches ; je ne pense pas que cette circonstance ait une signification génétique et ait pu avoir une influence importante sur leur composition minéralogique.

D'ailleurs elles n'est pas générale. En effet, les filons de Tsilaizina et d'Anjanabonoina se trouvent dans des quartzites, ceux d'Antaboaka et de Vohidahy dans des micaschistes, et il en est de même pour ceux de l'Andranomifafy.

D'autre part, si l'on discute à ce point de vue les résultats des analyses de la tourmaline, le minéral le plus caractéristique de ces pegmatites, qui est souvent exceptionnellement riche en calcium, on constate qu'il n'y a aucune relation entre cette richesse plus ou moins grande et la composition chimique des roches encais-

santes. Notons aussi qu'il est bien vraisemblable que si celles-ci avaient réagi d'une façon énergique sur le magma de la pegmatite, cette action se serait fait sentir sans doute sur les feldspaths, or parmi ceux-ci ne se trouve aucun type calco-sodique.

Preuves d'endomorphisme. — Quelques particularités cependant peuvent être attribuées à une réaction de la paroi calcaire; tel est par exemple le cas de l'extrême abondance de l'apatite sur le bord des filons de Manjaka et dans les apophyses des filons d'Antsongombato. C'est aussi de la même façon qu'il faut interpréter l'existence de la calcite cristallisée avec la bityite dans la dernière phase pneumatolytique, à Maharitra, et aussi la trémolite des géodes de Marirano et de Maharitra.

Enfin un énorme cristal d'hudsonite que j'ai observé dans le filon d'Antaboaka, à quelques décimètres du contact avec les micaschistes, pourrait bien être le résultat de la transformation d'une enclave schisteuse; c'est le seul exemple d'une amphibole trouvée dans une roche de ce genre et c'est le seul minéral relativement riche, à la fois en magnésium et en calcium observé dans l'ensemble des pegmatites sodolithiques de Madagascar.

Dans le massif du mont Bity, les calcaires sont parfois traversés par des veinules minces de pegmatite de moins d'un décimètre d'épaisseur. Je m'en occuperai ici puisque que je discute les phénomènes d'endomorphisme, bien qu'elles doivent peut-être être rapprochées plutôt du type potassique.

Ce sont des roches à grands éléments, de deux à trois centimètres de diamètre : les minéraux constitutifs sont les suivants : microcline, oligoclase blanc, grossulaire jaune orangé, et calcite, en cristaux bleuâtres, plus petits, à surface comme corrodée : ils sont englobés aussi bien dans le quartz que dans les feldspaths. La présence de calcite dans une telle roche est à comparer à celle du même minéral dans les syénites néphéliniques d'Alnö en Suède et d'Haliburton-Bancroft, au Canada, mais, tandis que dans celles-ci la présence de la calcite s'explique par la pauvreté en silice du magma, qui n'a pas permis une silicatisation de la chaux, on se trouve ici en présence d'un cas tout différent, puisque la pegmatite contient beaucoup de silice libre. L'explication doit être cherchée dans la différence du mode de formation des deux roches ; la présence du grossulaire est là d'ailleurs pour montrer qu'il s'agit d'une cristallisation effectuée à basse température.

Je rappellerai pour mémoire la discussion donnée page 274 au sujet de l'origine de la scapolite de la pegmatite de Tsarasaotra.

γ. **Caractéristiques chimiques.** — Les caractéristiques chimiques différentielles

des pegmatites sodo-lithiques malgaches et des pegmatites potassiques sont nombreuses[1].

Les premières sont en général plus feldspathiques, et par suite moins riches en silice, le passage à des filons de quartz ou à des portions essentiellement quartzeuses paraissent moins fréquents, mais ils ne manquent pas (Anjanabonoina).

Le potassium y existe en moindre quantité que le sodium, mais la prédominance de ce dernier s'accentue dans les types à cryptes, au voisinage et surtout dans celles-ci. Il ne faut pas cependant s'exagérer cette prédominance dans l'ensemble de la roche, ni mesurer la proportion du potassium uniquement à la quantité de microcline que renferme celle-ci, car dans les zones lithiques, abonde parfois la lépidolite qui est très potassique. Avec le sodium se concentre le lithium[2] et, avec ce dernier, le césium et le rubidium ; ceux-ci existent en quantité importante dans certains minéraux tels que la rhodizite, mais ils sont en outre distribués, à l'état de traces, dans beaucoup d'autres minéraux de la pegmatite et ils y sont parfois accompagnés de traces de gallium et de thallium.

Le tableau ci-contre montre la distribution de ces corps rares dans les minéraux des pegmatites sodo-lithiques, d'après les observations que M. A. de Gramont a faites sur mes échantillons (+, traces : + + + raies fortes).

		Cs	Rb	Ga	Tl	OBSERVATIONS
Microcline.	Anjanabonoina. . . .	+	+ +	+	+	
	Manjaka.	+	+ +	+	+	
	Antaboaka.	+	+	+		
	Antsongombato. . . .	+	+		+	
	Maharitra.	+	+			
	Tsilaizina.		+	+		Ba.
Biotite.	Antaboaka	+	+ +	+	+	Li, Mn.
	Maharitra.					Ti, Sc.
	Antsongombato . . .					Ti, Sr, Y, Ca.
Lépidolite.	Antsongombato . . .	+	+ +	+	+	Mn.
Zinnwaldite.	Antaboaka.	+	+ +	+	+	Mn.
Muscovite lithique.	Antaboaka.	+ +	+			Mn.
Béryl.	Anjanabonoina . . .	+		+		Li.
	Maharitra..	+		+		Li.
Rhodizite.	Manjaka	+ +	+ +	+	+	Li, Gl.

Le gallium a été décelé dans le triphane de Maharitra, la manandonite d'Antan-

1. Elles se manifestent surtout dans les éléments rares.

2. Celui-ci existe toujours en petite quantité si l'on considère l'ensemble de la roche : c'est surtout sa présence qui est symptomatique ; si je parle de pegmatite lithique, c'est par abréviation pour « à minéraux lithiques », expression qui serait plus correcte.

drokomby, la spessartite d'Anjanabonoina, la tourmaline rose et jaune de Tsilaizina et d'Anjanabonoina.

Le plomb a été trouvé dans les tourmalines polychromes d'Anjanabonoina, le strontium dans la danburite de Maharitra.

La pauvreté en magnésium est souvent plus grande encore que dans les pegmatites potassiques, mais, par contre, on observe parfois davantage de calcium qui entre dans des minéraux autres que les feldspaths (tourmalines lithiques, danburite, etc.).

Le bore est, en moyenne, beaucoup plus abondant que dans les pegmatites potassiques, non seulement il se rencontre dans des silicates (tourmaline, danburite), mais encore il constitue des borates (hambergite, rhodizite) : c'est là une caractéristique spéciale à certains gisements malgaches.

Quant au fluor, il se trouve dans les tourmalines, dans l'apatite, et surtout dans les micas lithiques qui, chacun le sait, sont extrêmement fluorifères.

Le phosphore par contre est réduit et ne se trouve que dans l'apatite; il faut retenir ce fait, car on verra plus loin que dans beaucoup de gisements de l'étranger, il existe de nombreux phosphates, lithiques (triphylite, lithiophylite, amblygonite) ou non (triplite) ; contrairement à ce qui se passe dans les pegmatites de Madagascar, le phosphore ne croît pas en même temps que le fluor.

Le manganèse est plus abondant que dans les pegmatites potassiques et dans beaucoup de minéraux (tourmalines lithiques, grenats), il existe en plus grande quantité que le fer ou même il remplace complètement celui-ci (spessartite pure, au lieu d'almandin-spessartite dans les pegmatites potassiques).

Le glucinium et le bismuth sont beaucoup moins abondants que dans les pegmatites potassiques, mais la différence la plus frappante entre les deux types de pegmatite se trouve dans le niobium, le tantale, le titane, l'uranium, l'yttrium et le cérium qui sont absents des pegmatites sodo-lithiques ou qui n'y existent qu'à l'état de traces[1].

Je donne ci-contre (**33**) une analyse de la pegmatite à triphane, rubellite, rhodizite de Manjaka qui constitue un type très caractéristique des pegmatites sodo-lithiques. I'.'4.'2.4, dont la composition moyenne me semble être I.4.1.4 : mais leurs portions aplitiques sont parfois plus potassiques [*analyse* **34** d'une aplite à tourmaline de la Sahatany (I.(3)4.2'.3')] ou beaucoup plus sodiques : la composition minéralogique des aplites albitiques de Manjaka et

1. Ceci est une particularité caractéristique des pegmatites malgaches, car on verra plus loin que la columbite est fréquente dans les pegmatites lithiques de la Nouvelle-Angleterre, où elle est souvent associée à la cassitérite qui manque totalement dans les gisements similaires de Madagascar.

d'Antsongombato ne doivent différer de l'*analyse* **357** de l'aplite d'Orvault (I.4.1.5) que par la présence d'un peu de B^2O^3 et de Li^2O.

	33	34
SiO^2	70,22	72,74
Al^2O^3	17,20	14,18
Fe^2O^3	0,89	1,65
FeO	0,87	0,67
MnO	0,28	»
MgO	tr.	0,46
CaO	1,36	2,62
Na^2O	4,45	3,18
K^2O	2,85	3,64
Li^2O	1,49	0,17
$(Cs, Rb)^2O$	tr. n. d.	»
TiO^2	tr.	0,11
P^2O^5	0,07	0,16
B^2O^3	0,18	0,18
F	0,11	n. d.
H^2O+	0,30	0,23
+—	0,09	0,10
	100,36	100,09

2° Étude particulière des gisements.

Les pegmatites sodo-lithiques ont une distribution géographique infiniment moins grande que les pegmatites potassiques ; c'est d'ailleurs un fait assez général dans la plupart des régions, où ces deux types sont associés. Les gisements les plus importants actuellement connus sont compris dans les environs de Betafo et d'Antsirabe et à l'Ouest d'Ambositra. Je les passerai successivement en revue.

α. **Bordure occidentale des Hauts Plateaux.** — Je ne connais avec certitude aucun gisement en place de pegmatite sodo-lithique en dehors des Hauts-Plateaux, mais M. Suberbie m'a remis jadis des échantillons recueillis dans les alluvions aurifères de la Belambo, dans la région de Maevatanana. Ce sont de petits grains roulés, très transparents, de diverses gemmes parmi lesquelles abonde la rubellite d'un beau rouge rubis. M. Perrier de la Bathie m'a dit qu'ils proviennent peut-être de filons de pegmatite traversant l'Ikopa en amont de Nosy Fito, près Tsarasaotra, mais je n'ai vu aucun échantillon de ces roches et je ne donne cette indication que sous réserve.

β. **Hauts Plateaux.** — *Région d'Ankazobe.* — Des tourmalines vertes m'ont été signalées à Fihaonana, mais je ne les ai point vues ; je signale cependant cette

indication pour appeler l'attention, à ce point de vue, sur cette région très riche en pegmatites potassiques qui n'est explorée que depuis quelques années.

Mandridrano et Sud-Ouest de l'Ankaràtra. — Je dois à M. Lacassagne et à M. Ruffat des fragments de très gros cristaux de rubellite d'un rouge violet très foncé du genre de ceux d'Anjanabonoina ; ils proviennent du Sud de Tsiroanomandidy, de la région de Tindoa, où ils abondent à environ 6 kilomètres au Sud-Sud-Ouest d'une montagne faisant partie de la chaîne d'Ambaravarambato. Il existe dans la même région des filons de pegmatite potassique uranifère.

M. Collin m'a remis un gros cristal de quartz hyalin de 16 centimètres supportant (T. I, pl. 19, fig. 2) deux volumineux cristaux de tourmaline verte, un peu fibreux (8 et 5 centimètres) ; il a été recueilli aux environs de Ramainandro et provient d'une crypte de pegmatite lithique, mais je n'ai aucune précision sur son gisement exact.

Depuis mon voyage à Ampangabe, M. Florens m'a envoyé de grandes lames de lépidolite rose et du béryl rose recueillis dans une pegmatite dont le feldspath est transformé en une halloysite rosée ; ces minéraux proviennent d'un filon situé à quelques mètres de la pegmatite à béryl, mais je ne sais si elle constitue un filon distinct.

Ouest de Betafo. — Le gisement le plus occidental que j'ai visité et qui est l'un des plus intéressants de Madagascar, celui qui aujourd'hui fournit toutes les tourmalines exportées de l'île pour la joaillerie est celui d'Anjanabonoina ; il est situé à environ deux jours de marche à l'Ouest de Betafo.

Plusieurs filons de pegmatite y traversent les quartzites ; le feldspath des principaux d'entre eux est entièrement transformé en argile rougeâtre ou en hydrargillite : lors de mon voyage, ces filons étaient en partie recouverts par des éluvions qui possèdent une coloration encore plus rouge ; elles se distinguent de la roche en place altérée par l'existence de fragments de quartzite, colorés extérieurement en noir par un enduit de psilomélane, ainsi que par l'existence d'une grande quantité de cristaux de minéraux intéressants. Depuis quelques années, M. Rossi a fait une exploitation intensive des éluvions qui ont été en partie lavées et le sous-sol a été ainsi mis à vif. M. Perrier de la Bathie et lui m'ont fourni des précisions à cet égard. Aux gneiss, relevés presque verticalement, succèdent des micaschistes, puis des quartzites, avec quelques bancs de calcaires cristallins. Dans les micaschistes, se trouve un filon très riche en tourmaline noire, puis, au contact des gneiss, se voit une pegmatite à amazonite (cleavelandite, tourmaline noire et rubellite) ; enfin un filon de quartz à béryl rose se trouve au contact des quartzites et des micaschistes.

Le minéral principal d'Anjanabonoina est la tourmaline ; la netteté des cristaux,

l'éclat de leurs faces ne laissent aucun doute sur leur origine drusique ; mais, à ma connaissance, aucun d'entre eux n'a été vu dans une cavité. Ils sont d'ordinaire isolés dans la terre rouge, très rarement bipyramidés, plus rarement encore peut-être groupés entre eux. Je n'en ai vu qu'un seul englobé par un cristal de quartz à faces brillantes ; dans deux cristaux de tourmaline seulement, j'ai observé des inclusions de larges lames de lépidolite ou de cleavelandite remplacée par de la terre rouge. Ces cristaux de tourmaline présentent les dimensions et les colorations les plus variées ; il en est qui n'ont qu'un centimètre de longueur ; j'en ai vu un pesant 15 kilogrammes. Leurs formes, leurs couleurs, ont été longuement décrites dans le tome I, je n'y reviendrai pas.

Par analogie, avec ce qui a été décrit à Maharitra, je pense que le triphane, que je n'ai vu que sous la forme transparente, provient également de cryptes ; il forme des cristaux incolores, légèrement verdâtres ou lilas (kunzite), toujours limités par les faces prismatiques qu'entaillent d'énormes figures de corrosion (Tome I, pl. 23 et fig. 402, p. 521). La même conclusion peut être adoptée pour l'origine de deux cristaux corrodés de danburite jaune, transparente, que j'ai vus récemment (Tome I, page 458).

Par contre, le béryl césifère d'un beau rose, tantôt opaque ou translucide, tantôt parfaitement transparent, qui est un des minéraux caractéristiques d'Anjanabonoina, me paraît provenir uniquement de la pegmatite elle-même. D'ailleurs récemment des cristaux fendillés ont été rencontrés englobés par du quartz en place.

Parmi les autres minéraux observés, il faut citer, en petite quantité, la spessartite, le bismuth natif, la magnétite et beaucoup de quartz (drusique) en cristaux transparents, hyalins, enfumés, bleuâtres, etc. J'ai recueilli moi-même un seul fragment de lépidolite écailleuse rose, englobant des baguettes de rubellite bacillaire et une large lame (4 centimètres) du même mica qui paraît constituer une grande rareté. Enfin M. Rossi m'a communiqué un échantillon de columbite qui est le seul exemple connu de ce minéral dans une pegmatite sodo-lithique de Madagascar.

A l'Est du *toby* et à flanc de coteau, j'ai étudié une petite carrière, ouverte sur une pegmatite non décomposée, renfermant d'énormes masses d'amazonite d'un joli vert qui devient blanche dans les parties exposées à l'air, et beaucoup de très gros cristaux (drusiques) de tourmaline noire ou brunâtre (Pl. 20, fig. 5), ainsi qu'une petite quantité de tourmaline polychrome et de rubellite ; j'y ai recueilli aussi du quartz riche en aiguilles aciculaires de tourmaline noire.

Parmi les échantillons qui m'ont été récemment communiqués, je signalerai de belles lames d'albite (cleavelandite) de 4 à 5 centimètres de diamètre, grou-

pées en gerbes et associées, dans le quartz un peu enfumé, à de beaux cristaux d'amazonite et à de la tourmaline noire. Parfois celle-ci forme une bordure aux lames de cleavelandite sans se trouver dans leur masse. Cette roche renferme un peu d'actinote verte à clivages éclatants (endomorphe?).

Les rognons de calcédoine secondaire et de silex ne sont pas rares dans la terre rouge de ce gisement.

Au Sud d'Anjanabonoina, sur le sommet de la colline de Vohitrakanga, et non loin de l'exploitation aurifère d'Ankonahona ont été traitées des éluvions dont le lavage a fourni de jolis cristaux transparents de tourmaline verte, jaune, brunâtre, à formes nettes, associées à beaucoup de fragments de rubellite brisés et dépourvus de formes géométriques. Il me paraît que ces derniers doivent provenir, comme ceux de Tsilaizina, de la pegmatite elle-même, alors que les cristaux d'autres couleurs, très analogues d'aspect avec certains de ceux de Maharitra, résultent certainement de la destruction de cryptes. Il y a lieu de signaler en terminant, l'existence de beaux cristaux de tourmaline noire qui, comme ceux des tourmalines lithiques, sont allongés suivant l'axe vertical et mesurent jusqu'à 6 centimètres de longueur avec moins d'un centimètre d'épaisseur.

Des cristaux de tourmaline verte, de forme analogue aux précédents, ont été rencontrés dans la même région, au Sud du lavage aurifère d'Andranomena.

Ces deux gisements sont situés à l'Ouest de Laondany; lors de mon passage à Betafo, l'on m'a remis comme ayant été trouvés dans le voisinage de Laondany, des fragments de très gros cristaux opaques de tourmaline, roses dans leur partie centrale et verts à leur périphérie.

Enfin, j'ai entre les mains un bloc constitué par des lamelles de lépidolite (ayant un demi-centimètre de diamètre), par du quartz et des baguettes de tourmaline jaune et rouge; il a été recueilli au Sud de Fefena.

Je dois à M. Bourdariat deux magnifiques échantillons de tourmaline bacillaire, d'un vert jaunâtre, dont l'un est représenté par la figure 4 de la planche 19 du tome I (réduction des deux tiers). Ils proviennent d'un point situé entre Analaidirana et le mont Kalapato, au Nord-Ouest du confluent de l'Andrantsay et de la Mania; ils indiquent l'existence dans cette région de pegmatites sodo-lithiques, à très grandes cryptes, dont la position exacte reste à déterminer.

Sud de Betafo. — Les divers gisements qui viennent d'être passés en revue sont distribués à peu près sur le même méridien; d'autres, non moins intéressants, se trouvent plus à l'Est et à environ 2 jours de marche au Sud de Betafo, d'où je suis parti pour les examiner.

Le principal de ces gisements est Antsongombato, qui a déjà été étudié par M. Duparc [10]; des filons Nord-Nord-Ouest sont intercalés au Sud du toby dans

les calcaires, sur le flanc abrupt des montagnes à travers lesquelles coule le ruisseau d'Analalava, ainsi que sur les deux rives de celui-ci. Ces filons ont rarement plus de deux mètres d'épaisseur et généralement ils ont beaucoup moins ; ils présentent parfois une allure lenticulaire et envoient dans les calcaires des apophyses à grain fin ; parfois aussi, ils renferment des enclaves de ceux-ci.

Comme à Antandrokomby, la pegmatite est remarquablement fraîche, très irrégulière comme composition ; le microcline et l'albite sont d'un beau blanc ; le mica est en général absent, mais, en certains points du filon exploité au Sud-Est du *toby*, il existe des accumulations de lames de lépidolite d'un violet magnifique, ayant plus d'un décimètre de diamètre. La tourmaline est surtout rouge foncé, avec parfois un centre brun ; elle est accompagnée de très gros cristaux de triphane, opaques ou simplement translucides, de couleur verdâtre, de béryl léger, vert, de beaucoup d'apatite d'un beau bleu de Prusse et enfin de quelques très petits cristaux de blomstrandite.

Tantôt le contact de la pegmatite avec le calcaire est net, sans changement de composition de la pegmatite, sauf quelquefois une exagération de la teneur en albite qui, en moyenne, dans le corps des filons est subordonnée au microcline ; tantôt le contact est formé par une zone très riche en tourmaline rouge et noire. Les apophyses ont souvent presque exclusivement pour feldspath de l'albite, d'un beau blanc, avec taches bleues et rouges d'albite, de rubellite et d'apatite.

L'aplatissement des lames d'albite donne aux préparations microscopiques de ces roches l'apparence d'une roche à très grands microlites qu'englobent ophitiquement le quartz et l'ophite. J'ai signalé depuis longtemps cette structure dans les aplites qui accompagnent les pegmatites des environs de Nantes.

Ces filons ont renfermé quelques druses, particulièrement abondantes sur le bord des filons ; on y a trouvé quelques cristaux de rubellite d'un rouge magnifique.

Au Sud d'Antsongombato, se trouvent, à Tetezantsio, des filons que je n'ai pas visités, mais qui, d'après M. Duparc [10], sont identiques à ceux qui viennent d'être décrits et se trouvent dans les mêmes conditions. Ils contiennent de la tourmaline noire et beaucoup de rubellite, parfois disposée normalement aux épontes.

Enfin il me reste à signaler quelques gisements au mont Maropapango et Angodongodona, à l'Ouest des précédents gisements, dont j'ai vu des tourmalines rouges : je n'ai aucun renseignement sur eux.

C'est par analogie que je rapporte au même type un gisement situé sur la rive gauche de la Mania, à 500 mètres du village d'Imalo et qui n'a été reconnu que par des éluvions. Une poche dans la terre rouge a fourni une centaine de kilo-

grammes de cristaux transparents de hambergite, minéral qui n'a plus été retrouvé depuis lors. Ce minéral, m'a dit son exploitant, était associé à de la tourmaline noire, du béryl, un mica blanc et du quartz ; malheureusement aucun de ces minéraux n'a été conservé.

Vallée de la Sahatany. — J'ai étudié en détail les nombreux gisements de cette vallée et de ses alentours. Près du mont Antsofimbato, à 400 mètres au Nord-Est du village de Mandrihariva, sur le plateau voisin des sources de la Sahatany, une pegmatite à muscovite et tourmaline noire est traversée par des veinules de quartz à lépidolite avec des tourmalines zonées vertes et rouges et des tourmalines uniformément vertes; je discuterai plus loin la signification de ce gisement.

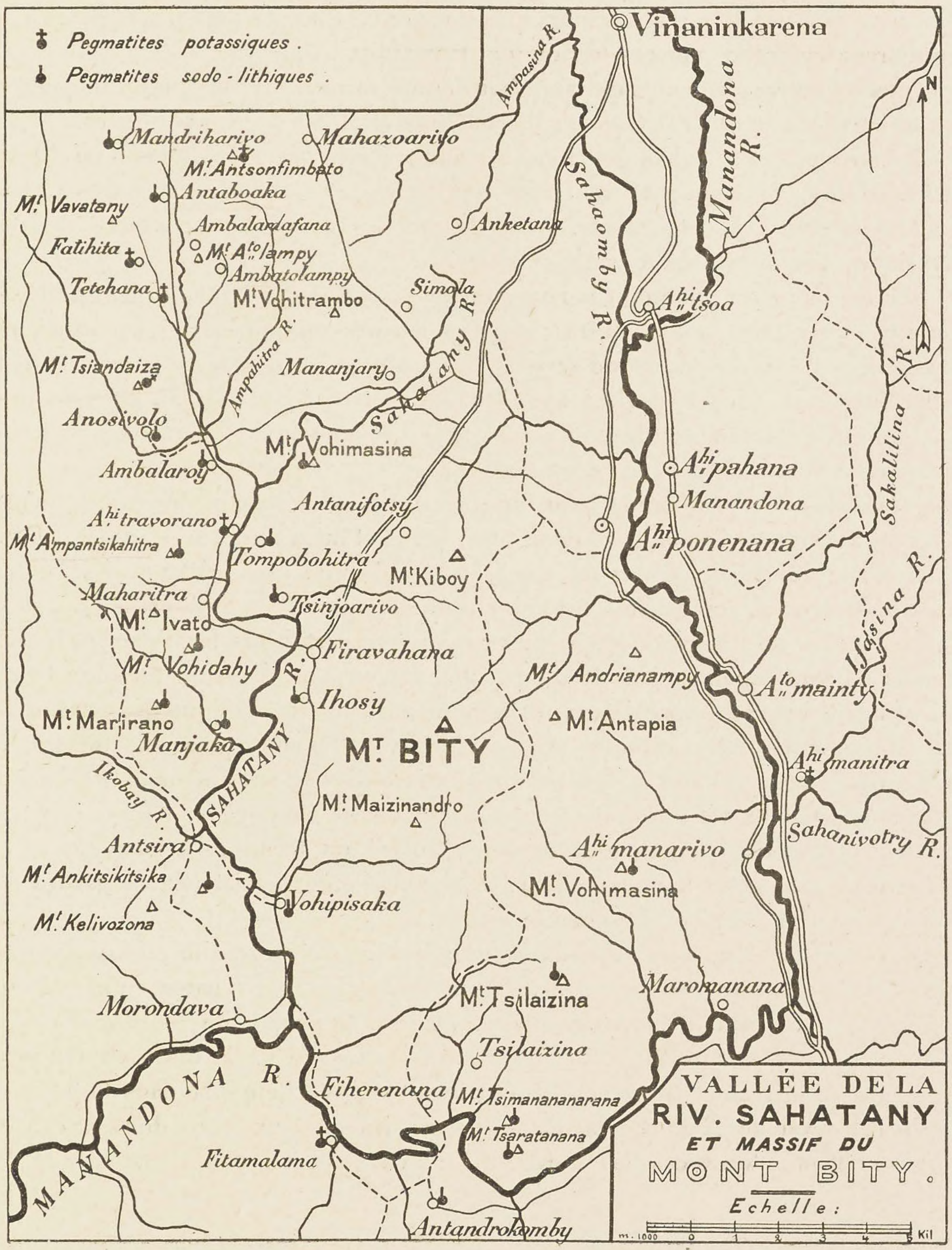
Aux environs plus immédiats de Mandrihariva, deux petites recherches, à fleur de terre, ont été faites, l'une à 300 mètres à l'Est, l'autre à 100 mètres Sud-Sud-Est du village, sur une pegmatite renfermant surtout des tourmalines de couleur claire, jaunes et rosées. Ces filons traversent les quartzites, comme ceux du flanc Nord-Est du mont Tsaravovonana; la pegmatite de ce dernier point est très quartzeuse, riche en tourmaline noire, accompagnée de tourmalines zonées, avec un peu de rubellite. D'après M. Duparc [10], on y aurait trouvé un prisme de béryl rose (densité 2,70) pesant 25 kilogrammes et ayant fourni de belles pierres. Il semble que l'on ait exploité surtout des éluvions.

Les filons d'Antaboaka se trouvent dans un des hauts ravins des sources de la Sahatany, à moins d'un kilomètre à l'Ouest du mont Antsofimbato; sur la rive droite du ruisseau se voit, dans les micaschistes altérés alternant avec un calcaire très cristallin et des quartzites, un filon de pegmatite fort kaolinisée; il contient du microcline blanc, en association graphique avec le quartz et aussi de l'amazonite d'un très beau vert clair, du béryl d'un bleu noir ou bien rose et blanc en énormes cristaux englobant de petits prismes d'une tourmaline bleu vert pâle, de la tourmaline d'un très beau rouge, mélangée ou bordée de vert, un peu de spessartite plus ou moins altérée en psilomélane, des lames de zinwaldite et de lépidolite blanche atteignant près d'un décimètre de diamètre et englobant des cristaux d'indicolite d'un bleu presque noir; ces grandes lames sont souvent entourées par un mélange d'indicolite et de quartz.

Le sol est jonché de gros cristaux polysynthétiques de quartz, à faces brillantes, qui indiquent l'existence de cryptes qui ne se voient pas en place.

Sur le front de taille méridional d'une petite carrière, j'ai observé un cristal d'amphibole (hudsonite) noire, renfermant des paillettes de biotite entre ses clivages : il mesure $0^{m},60$ suivant l'axe vertical : c'est le seul exemple que je connaisse de ce minéral dans une pegmatite sodo-lithique.

A quelques mètres en aval de cette carrière, mais sur la rive gauche du ruis-



Pegmatites potassiques.
Pegmatites sodo-lithiques.
Vinaninkarena
Ampasina R.
Manandona R.
Mandriharivo
Mahazoarivo
Mt Antsonfimbato
Antaboaka
Mt Vavatany
Ambalandafana
Anketana
Sahaomby R.
Fatihita
Tetehana
Ambatolampy
Mt Vohitrambo
Simola
Mt Tsiandaiza
Ampahitra R.
Mananjary
Sahatany R.
Anosivolo
Mt Vohimasina
Ambalaroy
Antanifotsy
Ahi pahana
Manandona
Ahi ponenana
Ahi travorano
Mt Ampantsikahitra
Tompobohitra
Mt Kiboy
Maharitra
Tsinjoarivo
Mt Ivato
Firavahana
Mt Andrianampy
Ato mainty
Mt Vohidahy
Ihosy
Mt Marirano
Manjaka
Mt Antapia
Mt BITY
Ahi manitra
Ikobay R.
SAHATANY
Mt Maizinandro
Sahanivotry R.
Antsira
Ahi manarivo
Mt Ankitsikitsika
Mt Vohimasina
Vohipisaka
Mt Kelivozona
Morondava
Mt Tsilaizina
Maromanana
Tsilaizina
MANANDONA R.
Fiherenana
Mt Tsimananananarana
Mt Tsaratanana
Fitamalama
Antandrokomby
Sakalilina R.
Ifasina R.
N
VALLÉE DE LA
RIV. SAHATANY
ET MASSIF DU
MONT BITY.
Echelle :
0 1 2 3 4 5 Kil

seau, une attaque a été faite sur un affleurement du même filon ou d'un filon différent qui paraît ne renfermer que de grandes lames de micas blancs ou verdâtres (lépidolite, muscovite lithique, zinwaldite).

Tous les autres gisements qui vont être énumérés se trouvent dans la moyenne ou la basse vallée de la Sahatany ; ils sont interstratifiés dans les calcaires.

A Anosivolo et à Ankadimena (rive droite) à environ 2 kilomètres au Nord d'Ambalaroy, la pegmatite renferme des tourmalines roses ou rouges ; ces gisements sont peu importants, mais ils ont fourni quelques beaux cristaux drusiques de quartz et de tourmaline noire.

Sur les hauteurs dominant la rive gauche de la Sahatany, il faut citer Andrianampy et surtout Tompobohitra[1] ; dans ce dernier gisement, la pegmatite fort hétérogène ne renferme pas de cryptes, mais seulement des géodes ; elle est très miarolitique et, dans ses cavités, abondent les cristaux de quartz enfumé, de tourmaline et de microcline mesurant quelques centimètres de longueur ; malheureusement aucun de ces minéraux n'a de faces brillantes et la tourmaline n'y est pas transparente ; néanmoins c'est un gisement fort intéressant pour un minéralogiste, à cause de l'abondance de la tourmaline et de la richesse de ses couleurs.

Il existe des portions plus feldspathiques, riches en gros cristaux de rubellite rose ou rouge vif, cerclée de tourmaline d'un vert plus ou moins vif ; ces cristaux atteignent un décimètre de longueur et présentent parfois des terminaisons nettes quand ils sont englobés dans le quartz. J'ai rapporté au Muséum un bloc de ce minéral renfermant trois cristaux de ce genre qui sont verts à l'une des extrémités et rouges à l'autre. Certaines portions de la roche sont plus quartzeuses, à éléments moins grands, à structure très miarolitique ; elles sont extrêmement riches en cristaux de tourmaline d'un noir bleuâtre homogène, parfois régulièrement cerclés de tourmaline d'un rouge violacé ou terminés à l'une de leurs extrémités par cette même couleur. A signaler enfin l'existence de géodes de calcédoine au milieu de la pegmatite intacte.

A Vohimasina, un gros filon de pegmatite traverse le granite gneissique très altéré ; il présente d'intéressantes variations de structure ; il passe en effet localement à une aplite à *tourmaline noire*. Dans cette pegmatite assez kaolinisée, l'*amazonite* est associée au *microcline* blanc ; il y existe de la tourmaline noire, un peu de tourmaline jaune et rose et surtout du *béryl* englobé dans le quartz ; ce béryl présente la particularité de former des cristaux verts dont le centre est rose et plus foncé que les bords. J'y ai vu aussi un peu d'euxénite et de blomstrandite.

1. Dans le tome I (Tourmaline) ce gisement a été orthographié : Tampombohitra, vérification faite, l'orthographe réelle est Tompobohitra, le précédent reproduisant une prononciation exclusivement sakalave.

Un peu au Sud de ce gisement, et sur la rive droite de la Sahatany, se trouvent les filons les plus remarquables peut-être de l'île au point de vue minéralogique, ceux de Maharitra, près du village de Manitra. Ils ont été exploités par la Société nantaise dont le directeur M. Fürst m'a généreusement donné les magnifiques échantillons qui ornent la collection du Muséum ; le chef des travaux, M. Tirlet, m'a fourni beaucoup de renseignements utiles. Ce sont ces documents que j'ai décrits en 1908, avant mon voyage [38]. Lorsque, en 1911, j'ai visité ces gisements, ils venaient d'être abandonnés, mais j'ai pu en rapporter d'assez nombreux échantillons mis de côté au cours de l'exploitation.

Ces filons ont été attaqués en trois points.

Dans la plus grande carrière, dite du Centre, on voit le contact d'un long filon de pegmatite et du calcaire. On y a rencontré les cryptes dont la description a été donnée page 308.

La roche est assez cohérente, mais elle s'émiette sans trop de difficulté par suite d'un commencement de kaolinisation. Le feldspath dominant est un *microcline* d'un beau blanc, à clivages nacrés ; associé à beaucoup d'*albite* abondante. Les tourmalines lithiques ont été trouvées dans des cryptes ou à leur proximité, elles sont de toutes les couleurs possibles (voir tome I), mais avec prédominance des types roses, rose vineux, vert bleuâtre clair. Les micas sont peu abondants, ils sont constitués par de la *biotite* et de la *lépidolite* violette et blanche en larges lames qui se rencontre partout au voisinage des cryptes ; ce mica forme quelquefois des agrégats dont il a été question plus haut et qui ressemblent à un micaschiste et englobent de gros cristaux d'indicolite d'un bleu presque noir ou de rubellite.

Une seconde carrière, située au-dessous de la précédente, est ouverte dans une pegmatite riche en quartz, contenant beaucoup de tourmaline noire et un peu de béryl verdâtre (léger), de gros cristaux de *spessartite* et quelques petits cristaux de *blomstrandite* ; le microcline est localement vert (amazonite). Des cryptes ont été trouvées aussi dans cette carrière, elles ont fourni des cristaux plus petits, mais en général plus limpides que ceux de la carrière précédente. Il est à noter que l'amazonite n'a jamais été observée en cristaux dans les cryptes qui, par contre, ont fourni de fort beaux cristaux de microcline blanc.

Enfin, au-dessus de la carrière du Centre et à environ 300 mètres dans la direction du Nord, des grattages superficiels, effectués sur un autre filon, ont fait découvrir de grandes cryptes, ayant jusqu'à 1 mètre de diamètre, dans lesquelles ont été recueillis des cristaux beaucoup plus gros que dans les deux carrières précédentes. Certains cristaux de quartz atteignaient jusqu'à 25 centimètres de longueur; de la *tourmaline* d'un rose violacé s'est présentée en cristaux de $0^{m},5$; de gros *béryls* roses, aplatis suivant la base, du *triphane* transparent, rose ou

jaune, de la *lépidolite* en grandes lames et enfin, comme grandes raretés la *hambergite* et la *danburite*. C'est dans ces géodes qu'ont été observés les cristaux bipyramidés de rubellite, enveloppés dans la palygorskite, et les phénomènes de corrosion décrits plus haut. Ce filon est le seul où ait été trouvée la *bityite*.

Il faut encore signaler sur la rive gauche de la Sahatany, à Morarano, une recherche faite vis-à-vis de la carrière de Maharitra et qui a fourni en particulier de beaux cristaux de tourmaline noire et de quartz. A une heure de marche à l'Est, de ces gisements, sur les flancs du mont Bity, M. Tirlet m'a signalé l'existence d'un filon contenant des cristaux de quartz, de tourmaline noire et de danburite.

Tout récemment, M. Dropsy a prospecté à 1 kilomètre Ouest-Nord-Ouest de Maharitra le filon d'Ambatolampy, intercalé sur près de 1 500 mètres dans les calcaires cristallins, orientés Nord-Sud (plongement vertical). La constitution de ce filon ne diffère pas de ce qui vient d'être décrit à Maharitra. Plusieurs tonnes de tourmaline rouge et jaune ont été extraites, mais n'ont fourni que peu de gemmes. La rubellite, d'un beau rouge, est associée à la lépidolite incolore ou violette, soit dans le microcline, soit dans le quartz. Les cristaux de ce gisement ont subi des phénomènes de torsion et de laminage très intenses.

A quelques kilomètres à l'Ouest de Maharitra, des filons ont été exploités dans le lit du ruisseau à Ampantsikahitra, au contact des micaschistes et des calcaires. Leurs cryptes ont fourni les mêmes minéraux que celles de Maharitra et particulièrement de magnifiques cristaux de rubellite, de béryl rose et de lépidolite ; c'est de ce gisement que proviennent les plus beaux cristaux bipyramidés de rubellite que j'ai eu l'occasion d'examiner ; d'un rouge sang très foncé, ils rappellent ceux d'Antandrokomby ; ils proviennent de cryptes qui n'ont plus été rencontrées dans une récente tentative de reprise de l'exploitation.

Les pegmatites des micaschistes du sommet et de la base du mont Vohidahy appartiennent encore au même type ; elles ont fourni de très beaux béryls roses, des cristaux de tourmaline rose, parfois curieusement tordus (dans quartz), beaucoup de tourmaline noire, enfin de la spessartite ; les cristaux de ce grenat, d'un jaune orangé clair, sont souvent cerclés d'une mince zone de tourmaline verte, cet ensemble tranche très agréablement sur le fond blanc ou vert du microcline associé à de grandes lames de lépidolite rosée.

A Tsinjoarivo, sur la rive gauche de la Sahatany, une pegmatite très kaolinisée renferme de la rubellite et de la tourmaline rose.

Beaucoup plus intéressant est le filon de Manjaka situé sur la rive droite de la rivière, à 2 kilomètres et demi plus au Sud. La pegmatite se voit dans un ravin, où elle constitue au milieu du calcaire un large filon. La roche est tout à fait intacte ; elle est caractérisée par une rubellite, seulement translucide ; elle est d'un

rouge très foncé, fibrobacillaire et constitue des baguettes dépourvues de pointements distincts qui atteignent un décimètre dans des géodes tapissées de cristaux d'albite et de microcline. Il faut signaler encore, comme élément normal, de grands cristaux de triphane violacé aussi régulièrement distribué que le microcline.

Sur les bords du filon, l'albite prédomine sur le microcline et renferme de gros cristaux de rhodizite. Le contact immédiat avec le calcaire est constitué par une zone extrêmement riche en tourmaline d'un vert olivâtre, en apatite bleu de Prusse, avec quelques cristaux de spessartite.

A l'Est de ce gisement, sur les derniers contreforts du mont Bity, près de Ihosy, se trouve un filon de pegmatite renfermant du triphane, du béryl verdâtre, de la rubellite et de gros cristaux de bismuth natif.

Au Nord-Ouest de Manjaka, il faut signaler à Marirano, sur la rive droite du ruisseau Amboharabe, affluent de droite de la Sahatany, une pegmatite en partie graphique qui présente la particularité de passer à une aplite à tourmaline. Comme à Maharitra, la tourmaline noire est surtout abondante au contact des calcaires, mais il existe des cryptes dans lesquelles abonde la tourmaline violette, verte ou jaune et de la rubellite d'un beau rouge foncé. C'est de l'une de ces cryptes que provient un magnifique cristal, actuellement dans la collection du Muséum. Ce même gisement a fourni du triphane, du béryl rose, de la lépidolite, de la spessartite, localisée dans le quartz; j'y ai recueilli aussi une petite masse de tourmaline soyeuse et fibreuse d'un vert bleuâtre entourée de cristaux de rubellite d'un joli rose. Au contact avec cette pegmatite, le calcaire est transformé en amphiboles (actinote et trémolite), minéraux qui forment aussi des enclaves dans la roche éruptive.

Entre Antsira et le mont Kelivozona, près du confluent de la Sahatany et de l'Ikobay, se trouve à Ankitsikitsika un filon du même type que celui de Maharitra. Les cristaux de tourmaline, engagés dans le quartz et les feldspaths kaolinisés, sont rouges ou violacés et bordés de vert; du triphane vert clair et rose dans un même individu, a été trouvé en assez grande abondance. Dans des cryptes ont été observés aussi de jolis cristaux de rubellite présentant des portions irrégulières vertes, du béryl en cristaux roses ou verdâtres et enfin de la tourmaline noire qui, en général, est rare dans les cryptes de pegmatites sodo-lithiques malgaches.

Les filons de Vohipisaka renferment surtout des tourmalines de diverses nuances de jaune et de la spessartite.

Voisinage Nord de la Manandona. — A l'Est de la Sahatany et au Nord de la Manandona, se trouvent les filons de Tsilaizina qui sont ceux de cette région dont l'exploitation a été le plus continue; ils sont encaissés dans les quartzites et présentent un contraste frappant dans leur état de conservation : les principaux d'entre eux

sont en voie de latéritisation, mais il en est d'autres d'une irréprochable fraîcheur.

La structure graphique y est extrêmement fréquente, sauf quand les éléments présentent d'énormes dimensions. Les tourmalines jaunes, brunes et roses de diverses nuances et le béryl rose sont assez abondants, mais ce béryl est très différent de celui de Maharitra au point de vue chimique, il appartient à la variété légère ; la lépidolite est très rare. Au milieu de la pegmatite dont, en moyenne, les éléments sont fort grands, se trouvent des traînées de grain moins gros, très quartzeuses, fort riches en tourmaline noire associée à beaucoup de cristaux blancs d'apatite, comme dans les pegmatites des Pyrénées et du Massif central de la France. Dans les portions de la roche à très grands éléments, le béryl est surtout englobé dans du quartz grisâtre, plus ou moins translucide. Il me faut enfin signaler l'existence d'un peu de bismuth natif.

Cette description se rapporte à la pegmatite de la grande carrière, située à flanc de coteau dans un ravin. Un peu plus haut sur la colline, se trouve un autre filon, riche en tourmaline jaune, en rubellite d'un jaune vineux, en béryl rose, avec un peu de biotite.

Lorsque j'ai visité ce gisement, un autre filon situé sur une arête rocheuse était en voie de prospection ; la roche en est absolument intacte. J'en ai vu extraire des lames de clivage de microcline blanc, mesurant 40 centimètres de plus grande dimension ; ils sont associés à de grandes lames de cleavelandite. La tourmaline est de couleur rosée, zonée de brunâtre ; les gros cristaux de béryl, roses au centre, sont blanchâtres à l'extérieur et ressemblent beaucoup, comme couleur, au quartz qui les accompagne. Cette pegmatite présente des parties très riches en quartz enfumé, englobant beaucoup de cristaux de spessartite orangée. La tourmaline est particulièrement abondante dans les portions de la roche constituées par des cristaux blancs de cleavelandite, moulés par du quartz. Là encore la tourmaline noire se concentre dans les parties les plus quartzeuses du filon, sans se mélanger avec les tourmalines polychromes.

Il existe quelques très petites druses dans lesquelles je n'ai vu que des cristaux d'albite et de quartz.

L'existence de géodes d'améthyste m'a été en outre signalée.

Ce gisement de Tsilaizina est surtout caractérisé par son béryl rose à faible densité et par les tourmalines de différentes teintes de jaune et de brunâtre qui se trouvent là plus belles que partout ailleurs[1].

1. C'est très certainement dans les éluvions de ce gisement qu'ont été recueillis en 1897, les échantillons de tourmaline jaune et rouge qui m'ont été envoyés par Garnier Mouton comme provenant d'Ambohimanarivo, village situé plus à l'Est, sur l'autre versant du Mont Bity Ce sont les premières tourmalines gemmifères de Madagascar qui aient été taillées.

A une petite distance au Sud-Est de Tsilaizina, des recherches ont été faites à Tsimananananarana sur des pegmatites qui ont surtout fourni de la spessartite. C'est le même minéral, formant souvent dans le quartz de beaux cristaux (a^2), accompagnés de tourmaline zonée (violette, orangée, rouge ou différemment colorées aux deux extrémités), de lépidolite et de béryl rosé, qui caractérise quelques filons situés à l'Ouest de Tsilaizina; Maroando, Antsahamena, Ambohimasinandraina et qui ont été étudiés par M. Duparc [10].

Ces divers filons et ceux de Tsilaizina fournissent presque toute la spessartite gemmiforme de Madagascar.

Sud de la Manandona. — Sur la rive gauche de la Manandona il faut signaler un gisement intéressant à beaucoup d'égards, celui d'Antandrokomby. Un filon Est-Ouest traverse les calcaires très métamorphisés; la pegmatite y est tout à fait intacte, elle renferme beaucoup de rubellite, du triphane vert et plus rarement rosé, un peu de béryl vert ou rose (tome I, pl. 26, fig. 1), quelques rares cristaux de rhodizite. Des cryptes, irrégulièrement distribuées sur les bords du filon, ont fourni de beaux cristaux de microcline (tome I, pl. 26, fig. 3), de superbes cristaux bipyramidés de rubellite, d'un rouge très foncé; ils étaient libres au milieu d'une argile rosée.

Des phénomènes dynamiques ont brisé les cristaux de triphane et de feldspath et parfois granulé le quartz dont les grands cristaux homogènes sont remplacés par un agrégat de petits grains à aspect saccharoïde. Enfin, j'ai observé les phénomènes pneumatolytiques diffus, et non pas localisés dans les cryptes, qui sont décrits page 311. Ils ont donné naissance au quartz, à la rubellite et à la manandonite.

Le contact avec le calcaire, transformé en cornéenne, est très net; il est jalonné par une zone riche en tourmaline noire; la même particularité s'observe autour des enclaves de ces cornéennes enveloppées dans le filon lui-même.

Je dois à M. Bourdariat un cristal basé de tourmaline jaune provenant d'une pegmatite des environs de la mine d'or l'Ieninkenina (Sud-Est d'Antandrokomby); cette roche traverse les micaschistes.

Le même ingénieur m'a remis un échantillon constitué par de la rubellite, de la lépidolite et des cristaux de quartz qui ont été recueillis à l'Ouest d'Avonomby, localité située à l'Ouest-Sud-Ouest d'Ieninkenina.

Je citerai en outre des filons se trouvant à Fitamalama, à 3 kilomètres à l'Ouest d'Antandrokomby et plus loin encore sur la même rive de la Manandona, à Morondava, un peu en aval du confluent de la Sahatany avec cette rivière; je ne les connais que par des fragments de tourmaline rouge qui m'ont été montrés à Antsirabe.

Sud-Est d'Antsirabe. — M. Bourdariat m'a remis un fragment de rubellite et de tourmaline jaune provenant de la vallée d'Andranomifafy, affluent de la Sahatorendrika, elle-même affluent de la Mania; ils montrent l'existence dans cette région de pegmatites sodo-lithiques dans le voisinage de ceux de pegmatites à muscovite.

Enfin, je dois à M. Vieille-Kœchlin des échantillons recueillis dans la même région, mais plus au Nord-Est, dans les alluvions des environs de Bilisy (vallée d'une autre Sahatorendrika, affluent de l'Onive); ils consistent en cailloux roulés de tourmaline zonée, verte et rose, débris de gros cristaux du genre de ceux d'Anjanabonoina. Le gisement en place des pegmatites dont ils proviennent mériterait d'être recherché.

Entre la Mania et la Matsiatra. — Les principaux gisements de cette région se trouvent au Sud d'Ambondromany (17 kilomètres Sud-Sud-Est d'Ambatofinandrahana) et, à Fiherenana à 1 500 mètres à l'Est d'Ambatonjirika, Ils sont situés au milieu des quartzites et des calcaires du bassin de l'Itsira (cours supérieur de la Lampopotra); ils ont été étudiés par MM. Duparc, Wunder et Sabot [10]. Les échantillons que j'en ai vus rappellent ceux d'Antsongombato : tourmaline noire, rubellite de différentes nuances, tourmalines jaunes et brunes, souvent cerclées de tourmaline violacée; des cryptes à cristaux ont fourni de la tourmaline d'un rouge foncé, analogue à celle d'Antandrokomby. A Fiherenana, il existe en outre de l'apatite bleu foncé et de la lépidolite, en grandes lames, qui offrent une grande analogie avec les échantillons de ces minéraux provenant d'Antsongombato. J'ai vu des minéraux analogues indiqués comme ayant été recueillis à Vahindambo au Sud de Mandritsara.

Parmi les nombreux filons de pegmatites qui traversent des micaschistes s'étendant entre le parallèle de Midongy et la Matsiatra, il existe les types sodo-lithiques.

Sur la rive droite de la Matsiatra, entre son confluent avec la Manandriana et Imody, plusieurs filons ont fourni de l'amazonite, puis, en amont d'Imody, à Andohafiakarana (en aval d'Andranomafana), ces mêmes pegmatites renferment une belle amazonite, d'un vert de cuivre, de l'albite blanche, de la rubellite bacillaire, de la tourmaline noire, brune et de diverses autres couleurs et enfin de la lépidolite en larges lames engagées dans de l'albite; ces tourmalines sont souvent zonées (vert noir au centre, puis vert clair et enfin rose à l'extérieur). Ces pegmatites sont encaissées par des calcaires cristallins.

Un échantillon recueilli à 2 kilomètres Nord d'Analamitsolo, dans la région de Fenoarivo montre qu'il existe des pegmatites à cryptes; il s'agit d'un gros cristal de microcline vert supportant des cristaux de quartz enfumé et des paillettes de lépidolite jaune clair.

Des filons de pegmatites à rubellite, à indicolite d'un bleu clair et à tourmaline brune ont été reconnus entre les schistes micacés et les calcaires cristallins de la rive gauche de l'Antsahabe, à 10 kilomètres Ouest d'Itremo. La tourmaline de ce gisement est souvent très déformée par actions mécaniques. Je dois à M. Battini un magnifique cristal de tourmaline rose, mesurant 10 centimètres $\times$ 7, dont l'une des extrémités est verte ; d'autres cristaux sont rouges au centre et d'un vert jaune sur les faces de la zone verticale ; les uns et les autres proviennent des abords Sud du village d'Itremo, où il en a été trouvé de beaucoup plus gros. C'est probablement de l'un de ces gisements que proviennent de beaux cristaux d'indicolite d'un bleu presque noir, englobés dans du quartz, que M. Emile Gautier m'a envoyés en 1894 ; ce furent les premiers cristaux de tourmaline malgache trouvés en place que j'ai eu l'occasion de décrire [29].

Je noterai que j'ai étudié un bloc de lépidolite rose écailleuse, englobant de grandes baguettes de tourmaline verte, qui m'a été donné comme provenant de la région de Midongy ; peut-être est-il originaire de l'un des gisements précédents.

Enfin j'ai eu en main des échantillons de pegmatite à amazonite provenant de la région d'Itremo (Amberobimady à 2 heures à l'Ouest de la Vodirandrana ; Antavy à 6 kilomètres Nord d'Ambondrona) et de Midongy (Ambalavata à 400 mètres Ouest du ruisseau Bemanandro), ils ne renferment aucun minéral accessoire permettant de savoir à quel type il faut rapporter ces roches.

Région d'Ambositra. — A l'Ouest d'Ambositra, à Fasimena, près de Sahaforona (4 kilomètres Nord-Ouest d'Andina), sur la rive droite de la Sahasonjo (ou Atsimondrano) et à 2 kilomètres Est de son confluent avec l'Ivato, a été prospectée par M. Pachoud une pegmatite qui affleure dans un ruisseau ; le feldspath est une perthite d'amazonite et d'albite, il est accompagné d'un peu de biotite ; la présence de danburite, à l'état d'élément essentiel, permet de ranger, par analogie, cette roche parmi les pegmatites sodo-lithiques, bien qu'en réalité jusqu'ici, à ma connaissance, aucun minéral lithique n'y ait été rencontré. Le filon orienté Nord 40° Est est épais de $2^{m},50$; il a été suivi sur 1 kilomètre.

D'autres filons, situés au milieu des cipolins d'Ambohijanakomby, sur l'Ivato, contiennent seulement de la rubellite d'un rouge clair.

Dabren a indiqué [5] au Nord-Ouest d'Ambositra, près d'Ilaka, au Mont Antanandrovolo et au Mont Ambero, puis au Sud-Ouest de la même ville, au Mont Andalono, des tourmalines de diverses couleurs. Je n'ai vu aucun échantillon de ces gisements.

Région de Fianarantsoa. — Dabren a cité [5] des tourmalines vertes aux Monts Iaranany, Marovato et Vohidolo, dans la vallée du Mandranofotsy, au Sud-Sud-Est de Fianarantsoa ; je n'ai pas vu ces minéraux, mais j'ai eu en mains un très

gros cristal roulé (12 centimètres de diamètre) de tourmaline, rouge cerise, cerclé de vert, provenant de la même région, d'Alakamisy près d'Itenina. M. Moiret m'a signalé sous le nom d'Alakamisy Bemahy un gisement qui est probablement le même que le précédent. Sur trois kilomètres environ, de très gros cristaux, rappelant, par leurs dimensions et leur couleur rouge, ceux d'Anjanabonoina (avec rarement des couleurs vertes et jaunes), ont été recueillis à la surface du sol, sans que les travaux de prospection effectués aient pu faire découvrir leur gisement originel. Il est fâcheux qu'aucun des minéraux accessoires les accompagnant n'ait été recueilli.

d. — Pegmatites à muscovite et lépidolite.

Au moment où cette feuille allait être mise en pages, j'ai reçu de M. Rasamoel une série d'échantillons qui indiquent l'existence d'un type de pegmatites différant de tous ceux qui ont été décrits plus haut.

Il s'agit d'un filon interstratifié dans les schistes amphiboliques au Nord-Ouest de Soarano (23 kilomètres Sud-Est de Tsaratanana). Cette pegmatite est constituée par des cristaux gigantesques d'amazonite avec de grandes lames de muscovite, du béryl bleu, jaune, vert clair, de la monazite, de la columbite, de l'almandin, de la topaze limpide, incolore et enfin de la lépidolite soit en lames d'un décimètre de diamètre, soit en cristaux plus petits de 2 à 3 centimètres. A cette lépidolite est associé un béryl rosé (2,76). Un grand cristal de lépidolite à contours hexagonaux formé de cristaux plus petits imbriqués fait penser à la probabilité de l'existence de druses à cristaux et je me demande si la pegmatite à amazonite et topaze de Mahabe dont il est question page 270 ne serait pas à rapporter au même type, mais, à ma connaissance, il n'y a pas été trouvé jusqu'à présent de lépidolite. La muscovite de Soarano fond sur les bords, au chalumeau, comme celle d'Antaboaka et elle est un peu lithinifère.

Peut-être faut-il aussi rapporter à ce même type de pegmatite le filon d'Ampangabe qui a fourni la lépidolite dont il est question page 278.

Ce sont là les seuls exemples que je connaisse à Madagascar de pegmatites renfermant un mica lithique et associé à la muscovite et dépourvu de tourmaline lithique [1].

e. — Relations des pegmatites sodo-lithiques et des pegmatites potassiques.

Dans les pages qui précèdent, j'ai montré qu'à Madagascar les pegmatites potassiques et particulièrement celles à muscovite constituent un type tout à fait

1. Peut-être faut-il comparer ce cas à celui des pegmatites d'Alabachka dont il est question page 348.

distinct des pegmatites sodo-lithiques. On verra plus loin qu'il n'en est pas de même dans d'autres pays et particulièrement aux États-Unis.

Il eût été intéressant de déterminer les relations mutuelles de ces deux catégories de pegmatites. Malgré d'attentives recherches, je n'ai vu à Madagascar aucun contact entre elles ; quand dans certaines régions, la vallée de la Sahatany par exemple, des filons des deux types se trouvent à proximité les uns des autres, ils sont généralement parallèles. J'ai à signaler seulement un cas curieux, dans lequel quelques-uns des minéraux caractéristiques des pegmatites sodo-lithiques apparaissent au milieu d'une pegmatite à muscovite et tourmaline, mais avec l'apparence de produits de corrosion pneumatolytique. Il ne s'agit plus d'un passage insensible d'une roche à l'autre par suite de transformations dues à l'évolution normale de la roche, mais d'un véritable phénomène destructeur dont j'aurai à signaler un autre exemple emprunté à un gisement français, celui de Brassac, dans le Tarn (Cf. p. 355).

Dans une carrière située au Mont Antsofimbato, à 400 mètres du petit village de Mandrihariva et tout près de l'origine de la Sahatany, on voit au milieu d'une pegmatite renfermant des taches ou des veinules de quartz riche en muscovite, des filonnets irréguliers de quartz qui renferment, çà et là, de la tourmaline polychrome et des agrégats de lépidolite rose, englobant des baguettes de rubellite de couleur claire, de tourmaline verte, un peu de spessartite et de quartz.

Dans le pays, j'ai su que cette carrière a été exploitée pour l'extraction d'un béryl incolore et rose, mais je n'ai pu obtenir de précision au sujet de la roche qui renfermait ce minéral.

Il n'est pas douteux que les minéraux lithiques soient d'origine pneumatolytique secondaire, j'ai rencontré en effet des lames de muscovite, ayant la largeur de la main, entourées par une zone de 2 à 3 centimètres d'épaisseur constituée par des lamelles de lépidolite implantées perpendiculairement à leur contour et semblant s'être formées à leurs dépens.

La constance de l'existence de pegmatites potassiques partout où il existe des pegmatites sodo-lithiques ne laisse pas de doute sur les relations génétiques qui les lient entre elles et avec le granite monzonitique, à la périphérie duquel on les rencontre.

L'observation qui vient d'être indiquée d'une part et d'une autre le fait de la production des zones et des cryptes plus sodo-lithiques dans les pegmatites du type de Maharitra, de même aussi que les observations consignées plus loin au sujet des pegmatites de la Californie et de la Nouvelle-Angleterre montrent que la phase lithique est toujours le dernier acte de l'histoire des magmas granitiques.

Il paraît donc vraisemblable que, là où coexistent ces deux types de pegmatites, le type sodo-lithique doit être de formation postérieure au type purement potassique. L'observation concernant Antsofimbato est un commencement de preuve de cette proposition.

On peut concevoir en résumé que dans l'évolution de la genèse des pegmatites, le type potassique, le type Maharitra (phase sodo-lithique localisée) et enfin le type Antandrokomby (phase sodo-lithique généralisée) représentent des stades successifs d'un même phénomène.

3. — Comparaison des pegmatites sodo-lithiques malgaches avec celles d'autres contrées.

A l'inverse de ce qui a lieu pour les pegmatites potassiques qui sont distribuées à profusion à travers le monde et qui présentent souvent entre elles de faibles variations minéralogiques et structurales, les pegmatites renfermant des minéraux lithiques sont localisées dans un petit nombre de contrées et présentent des particularités régionales fort curieuses. Il me paraît donc intéressant de faire une revue des principaux gisements connus de ces roches, d'autant plus que j'ai eu l'occasion d'étudier sur place quelques-uns des plus importants d'entre eux et que j'ai examiné, dans le laboratoire, des échantillons provenant de la plupart des autres.

α. **États-Unis**[1]. — Deux régions sont remarquables à ce point de vue ; les états de la Nouvelle Angleterre, sur la côte atlantique des États-Unis et la Californie, sur la côte pacifique. J'ai visité, en 1888 et 1913, la plupart des gisements qui vont être passés en revue et, grâce à M. Pierpont Morgan, j'ai pu, au cours de mon dernier voyage, compléter la magnifique collection de gemmes américaines que notre Muséum doit à la libéralité de son père. J'ai été accompagné dans plusieurs de mes excursions de la côte atlantique par M. Howe et par mon ami, M. Geo. F. Kunz, le minéralogiste, expert en gemmes, bien connu de tous ceux qui s'intéressent aux pierres précieuses.

Nouvelle Angleterre. — Comme à Madagascar, les pegmatites renfermant des minéraux lithiques se rencontrent, non pas dans le granite, mais dans les schistes métamorphiques ou dans les gneiss, à la périphérie de massifs granitiques.

1. Un seul gisement a été signalé au Canada (G.-C. Hoffmann, *Amer. J. of Sc.*, t. XI, 1901, p. 149) à Wakefield (Ottawa County), qui semble assez analogue à ceux de la Nouvelle Angleterre, mais il n'a pas été décrit en détail ; la pegmatite contient : quartz, microcline blanc ou vert, albite, lépidolite, fluorine, beaux cristaux de tourmaline noire et verte.

Comme à Madagascar, ils sont accompagnés de filons de pegmatites potassiques, mais une différence essentielle doit être signalée tout d'abord. Aucune de ces pegmatites n'est minéralogiquement homogène ; dans toutes, les minéraux lithiques ne se trouvent que dans une portion des filons, leur genèse a constitué la phase ultime de la formation de pegmatites potassiques. Dans le plus grand nombre des gisements il existe dans ces zones lithiques des cryptes, comparables à celles des pegmatites de Maharitra, mais ces pegmatites dans leurs parties non lithiques, au lieu d'être essentiellement caractérisées par la constance de la tourmaline à l'exclusion de la muscovite sont essentiellement des *pegmatites à muscovite* et les zones sodo-lithiques ne constituent qu'une faible portion de leur masse.

Maine[1]. — La plupart de ces pegmatites sont exploitées pour le feldspath et subsidiairement pour le mica (muscovite) qui est parfois assez abondant pour pouvoir être utilisé, en même temps, que les feldspaths et le quartz ; d'ordinaire les gemmes ne sont recherchées que par surcroît.

Le feldspath dominant est le microcline, généralement associé en microperthite avec de l'albite ; il existe fréquemment du béryl bleu verdâtre du type léger.

Les zones sodo-lithiques sont disposées d'ordinaire parallèlement au plan de plus grande dimension du filon et au voisinage de leurs épontes ; c'est là où se trouvent les cryptes à cristaux lorsque celles-ci existent. Ces zones sodo-lithiques, essentiellement caractérisées par l'abondance de l'albite sous forme de larges lames aplaties (cleavelandite), sont d'ordinaire séparées de la pegmatite normale par une zone, à structure granulitique n'ayant souvent que quelques centimètres de largeur, très riche en petits grenats. Une autre caractéristique de ces pegmatites est leur richesse en phosphates variés (apatite, amblygonite, triphyllite, triplite, etc.).

Les gisements qui vont être passés en revue, et qui sont ceux que j'ai visités, sont localisés dans un rayon d'une cinquantaine de kilomètres autour de la petite ville de Paris.

Mont Mica. — Un des gisements les plus remarquables est celui du Mont-Mica, situé à environ 1 kilomètre à l'Est de Paris. La pegmatite forme un filon dans le micaschiste ; elle est exploitée depuis plus de cent ans à cause de l'abondance des cryptes à cristaux ayant quelquefois plus d'un mètre de diamètre et dont on a exploré environ 430. Elles sont toujours séparées de la pegmatite normale par la zone grenatifère ; elles fournissent de belles gemmes.

1. Les pegmatites de cet état ont été étudiées par M. E.-S. Bastin ; son mémoire, cité plus haut, a été pour moi un guide précieux.

La pegmatite normale est formée par du quartz blanc ou opaque et du microcline, rarement groupés graphiquement entre eux, alors qu'au contraire les associations de ce genre sont fréquentes entre la muscovite et le quartz. Il existe fort peu de biotite, et de la tourmaline noire très irrégulièrement distribuée; enfin il faut citer le béryl bleu verdâtre, opaque ou transparent.

Au delà de la zone grenatifère, c'est-à-dire sur la bordure des cryptes, aux minéraux qui viennent d'être énumérés, s'ajoutent la cleavelandite, la lépidolite, des tourmalines diversement colorées, généralement opaques (de grandes baguettes de tourmaline verte sont enveloppées dans la muscovite) ; on observe aussi des concentrations ou des associations de quelques-uns de ces derniers minéraux, par exemple de la lépidolite grenue, avec plus ou moins de cleavelandite, de muscovite et de tourmaline rosée ou verte.

On peut remarquer, et cette observation est générale, que lorsqu'abonde la lépidolite, le microcline est rare ou absent ce qui explique la production de ce mica, qui absorbe toute la potasse du magma ou plutôt des émanations de celui-ci.

A ces minéraux s'ajoutent quelquefois du triphane rose ou bleu pâle, des phosphates (apatite, amblygonite, triphyllite), de la cassitérite, de la columbite, du zircon, de la pétalite, etc.

Quant aux cryptes, elles sont tapissées par des cristaux de quartz, de feldspaths (albite et microcline) et surtout par des tourmalines (vertes de diverses nuances, roses ou rouges, incolores, de teinte homogène ou zonés); elles sont accompagnées de quelques cristaux de béryl césifère, incolore ou rosé. Les cristaux de tous ces minéraux sont très souvent brisés; on les recueille à l'état de fragments englobés par un mélange miarolitique de quartz, plus ou moins opaque, et de cookéite; tel était le cas réalisé dans une très grande crypte que j'ai pu examiner en détail. Il faut voir dans cette association, quartz et cookéite, l'homologue des produits de corrosion décrits page 311 à Antandrokomby. Mais ici ne s'est pas produit, au moins dans la crypte que j'ai vue, l'abondance de la tourmaline de nouvelle formation qui caractérise ce gisement malgache. Il me paraît vraisemblable que les petits cristaux de childrénite signalés dans ce gisement proviennent de cette même phase ultime de la cristallisation de la roche.

Mont Apatite. — Le Mont Apatite est situé à 11 kilomères à l'Ouest d'Auburn; plusieurs carrières y ont été ouvertes. Ici dans la pegmatite normale, les associations graphiques de microcline et de quartz sont fréquentes, aussi bien que celles de muscovite et de quartz. Les grandes lames de muscovite sont quelquefois associées graphiquement avec le quartz et bordées de lépidolite, géométriquement orientée sur elles et non plus produites par corrosion, comme à Mandri-

hariva. Il n'est pas rare de trouver des amas de lames de muscovite se clivant sous forme de calottes sphériques, analogues à celles de Sahamandrevo. Le grenat est surtout abondant dans les zones très quartzeuses et micacées, comme à Maharitra. Il faut aussi noter le béryl bleu verdâtre, la columbite, la cassitérite, la molybdénite.

Les zones sodo-lithiques sont souvent, mais pas toujours, délimitées par une zone grenatifère ; au voisinage des druses, il faut signaler le quartz, l'albite, la lépidolite peu abondante, le béryl, la triphylline et l'amblygonite et surtout les tourmalines incolores, roses, lilas, vertes ; les mêmes minéraux (sauf les phosphates lithiques), ainsi que la herdérite[1], se trouvent en beaux cristaux dans les cryptes.

La phase de corrosion pneumatolytique est caractérisée non seulement par la cookéite, mais surtout (Pulsifer Quarry) par de magnifiques cristaux d'apatite rose, pourpre, bleu vert, contemporains de prismes de quartz blanc et opaque implantés sur les cristaux limpides de quartz de la paroi des cavités. Cette formation d'apatite dans la zone de corrosion, qui se rencontre dans d'autres gisements, est une caractéristique de ces gisements américains ; cette richesse en phosphate est tout à fait différentielle des pegmatites malgaches.

Poland. — Dans la même région, à Poland, les pegmatites sont à rapporter au même type que dans le gisement précédent, mais, dans la roche normale, la biotite abonde, ainsi que les associations graphiques de quartz et de tourmaline noire : le béryl n'est pas rare. L'amblygonite et la lithiophylite se rencontrent dans la zone à lépidolite et cleavelandite. Dans les cryptes, ce sont encore les tourmalines vertes, bleu verdâtre et roses, qui dominent ; la herdérite a été observée ; dans la phase pneumatolytique, on rencontre encore l'apatite pourpre.

Greenwood. — Dans ce gisement, que j'ai visité avec M. Palache, la pegmatite normale est caractérisée par la prédominance de la cleavelandite sur le microcline ; la muscovite constitue parfois près de la moitié de la roche[2] et la tourmaline noire est rare. De nombreuses cryptes ont été observées dont quelques-unes avaient près de deux mètres de diamètre. Dans la zone à cleavelandite, l'amblygonite, la triphylite accompagnent la lépidolite, ainsi que les tourmalines rouges et vertes, souvent englobées dans le quartz et la muscovite.

1. La herdérite me paraît devoir être comparée à la bityite au point de vue de sa genèse. D'ordinaire ses cristaux, comme ceux des tourmalines qu'ils accompagnent, datent de la fin de la période de pneumatolyse constructive, mais j'ai vu dans la collection de M. A. Maling, à Portland, des cristaux de herdérite implantés sur une rubellite pseudomorphisée en cookéite. Ceux-là ont été, par suite, formés à la fin de la phase de pneumatolyse destructive. Ce minéral se trouve aussi dans les druses des pegmatites potassiques (Cf. p. 302).

2. On trouvera plus loin un exemple (Black Mountains) de cet antagonisme entre le microcline et la muscovite, auquel il faut donner la même explication que pour la lépidolite.

Dans les cavités, en outre des tourmalines, il existe du béryl césifère, de la herdérite, de la phénacite, etc.

Greenwood est un des gisements américains, où j'ai pu voir avec le plus de netteté les résultats de la phase de corrosion ; ils sont du même type que dans les gisements précédents, avec quartz, cookéite, apatite violette, mais avec, en outre, de la tourmaline verte.

Hebron. — A deux milles au Nord-Est d'Hebron, se trouve le gisement du Mont Rubellite, appartenant au même type que celui de Mont Mica, mais avec des cryptes rares ; là encore la pegmatite est riche en muscovite ; dans la zone lithique, les tourmalines diversement colorées sont accompagnées d'amblygonite, d'apatite, de cassitérite et enfin d'un minéral que je n'ai pas encore cité, le *pollux*.

Dans les cryptes, aux minéraux habituels, il faut ajouter la childrénite et la cookéite.

Un autre gisement, celui du Mont Marie, fournit une pegmatite analogue, mais riche en biotite. La lépidolite n'est pas abondante, pas plus que les poches à cristaux. J'y ai recueilli de beaux échantillons de triphyline (hétérosite) et de columbite.

Dans tous les gisements qui viennent d'être passés en revue, il existe des cryptes au milieu de la zone lithique. Voici maintenant quelques gisements qui en sont dépourvus et dans lesquels les gemmes sont extraites de la pegmatite elle-même, comme à Tsilaizina.

Rumford. — La pegmatite de la Black Mountain Mica Mine, au Nord de Rumford, appartient à un type exceptionnellement micacé, dans lequel la muscovite forme de 30 à 40 pour 100 de la roche : par contre, le microcline y est peu abondant et le feldspath dominant est la cleavelandite.

La muscovite, en lames atteignant 60 centimètres de plus grande dimension, constitue une zone continue au contact des schistes ; ses lames sont implantées normalement aux épontes. Il existe d'énormes cristaux de triphane blanc, atteignant plus d'un mètre de longueur ; ils sont associés intimement au quartz, alors que la tourmaline noire est engagée dans de la cleavelandite et non dans la muscovite.

Au milieu de la pegmatite ainsi constituée, se trouvent des traînées d'une magnifique roche à grain moyen, constituée par de la muscovite, du quartz, de l'albite un peu calcique, de la tourmaline rose, en baguettes divergeant parfois d'un centre, et enfin de gros cristaux de triphane. Il existe aussi des traînées d'une roche, à plus grands éléments, formée de paillettes de lépidolite rose, de triphane, de rubellite et de tourmaline bleue. Enfin, il faut signaler des pseudo-filons constitués par de la lépidolite en lames implantées perpendiculairement aux

parois et des zones essentiellement constituées par de la spessartite, du quartz et de la muscovite.

Newry. — Dans cette localité, la pegmatite, à structure graphique, est riche en muscovite et renferme de gros cristaux de tourmaline verte. Au centre du filon, la cleavelandite accompagne ou remplace le feldspath potassique ; la lépidolite écailleuse est irrégulièrement distribuée et se concentre en petites masses. Des cristaux de triphane, atteignant 75 centimètres de longueur, enfin de la tourmaline, quelquefois transparente d'un bleu noir ou rose bordée de vert ou encore rouge (l'une des extrémités des cristaux est verte, l'autre comme celle de la tourmaline de Tompobohitra), complètent ces associations minéralogiques, auxquelles il faut ajouter encore un peu de béryl et des paillettes d'autunite.

Buckfield. — La pegmatite à muscovite et tourmaline noire de cette localité est à très grands éléments ; on y observe beaucoup d'amblygonite, du béryl césifère, de la triphylite, de l'apatite, de la columbite, de la cassitérite et enfin du *pollux,* associé à la lépidolite. Le pollux constitue de grosses masses ; au moment de ma visite on venait d'en trouver une qui semblait former un seul cristal et qui a fourni une centaine de kilogrammes de ce rare minéral qui constitue un minerai de césium.

Les pegmatites du Maine fournissent des tourmalines, à l'état de gemmes, dont les couleurs rappellent souvent celles de Madagascar, à l'exception des teintes jaunes et brunes du genre de celles de Tsilaizina ; par contre, elles présentent des nuances de vert clair et brillant que je ne connais pas dans la Grande Ile. Le béryl césifère n'y est pas très fréquent ; ses teintes rappellent celles du béryl de Maharitra, d'un jaune rosé, et ne possèdent jamais la belle couleur rose vif de certains autres béryls malgaches.

J'ai relevé plus haut la différence essentielle existant entre les pegmatites des deux pays et qui résulte surtout en ce que la muscovite abonde dans les portions non lithiques des roches de la Nouvelle Angleterre sans être absentes du voisinage des cryptes. Une autre différence, de moindre importance, réside dans la forme cleavelandite que prend si souvent l'albite dans le Maine, alors que cette variété est plutôt exceptionnelle à Madagascar[1] (Anjanabonoina, Tsilaizina), au moins à l'état de grandes lames. On a vu combien sont fréquentes dans les zones lithiques des pegmatites du Maine la columbite et la cassitérite ; à Madagascar, je n'ai vu qu'un seul échantillon de columbite provenant d'une pegmatite sodo-lithique

1. Inversement dans le Maine, la forme amazonite du microcline est fort rare (env. de Paris et Mount Desert).

(Anjanabonoina), quant à la cassitérite, elle est totalement absente des pegmatites sodo-lithiques malgaches que j'ai étudiées.

Enfin, dans chacune des deux régions les pegmatites possèdent certains minéraux qui manquent dans celles de l'autre ; à Madagascar, se voient des borates et des silico-borates autres que la tourmaline, dans le Maine de nombreux phosphates (amblygonite, triphylite, etc.), le pollux et la pétalite.

Massachusetts. — Les gisements que j'ai visités, à l'aide des renseignements qu'a bien voulu me donner M. Emerson, se trouvent dans l'Old Hampshire County ; ils sont bien connus sous les noms de Chesterfield et de Goshen. Ce sont des dykes traversant des schistes micacés, qui renferment aussi des veinules de quartz remarquables par leurs beaux cristaux de disthène[1] et de staurotide. Les gisements vont être examinés du Nord-Ouest au Sud-Est.

Là encore, il s'agit de pegmatites à muscovite, mais elles sont dépourvues de cryptes à cristaux et les zones sodo-lithiques présentent une régularité qui manque à celle du Maine ; ces zones sont souvent situées dans l'axe des filons et possèdent une disposition symétrique, leur partie centrale est constituée par du quartz enfumé.

Chesterfield. — Les pegmatites de cette région sont considérées par M. Emerson[2] comme constituant des tronçons d'un même gigantesque filon, ce qui expliquerait leur analogie de structure, bien qu'ils présentent des différences locales : celles-ci font penser qu'il s'agit plutôt, peut-être, de filons distincts, alignés suivant une même direction. Voici quelques-uns des affleurements.

A Macomber's ledge, une section transversale du filon montre tout d'abord une association de quartz, de muscovite, d'albite grenue, de tourmaline noire et de triphane, puis apparaît la zone plus sodique, avec la cleavelandite, le quartz, la spessartite, le zircon et enfin au milieu du filon, le quartz enfumé, avec tourmaline verte et bleue.

Le gisement de Clarke's ledge est celui qui fournit les échantillons de tourmalines zonées qui se trouvent dans toutes les collections avec l'indication « Chesterfield ». La pegmatite ne renferme pas de triphane ; le bord du filon est constitué par une aplite albitique saccharoïde, avec un peu de muscovite, de tourmaline noire et de spessartite, puis apparaît la zone à cleavelandite (à très larges lames), englobant les tourmalines bleues, vertes, rouges, etc., souvent zonées : les minéraux accessoires sont la microlite, la columbite, la cassitérite, le zircon, la lépi-

1. Ces filons de quartz à disthène me semblent être, au point de vue de leur mode de gisement, l'homologue de ceux qui fournissent les échantillons de disthène malgache décrits page 408 du tome I.

2. A.-A. Julien. Spodumene and its altérations. *Ann. New-York Acad. Sc.*, I, 1879, p. 351, et O.-E. Emerson. Geology of Old Hampshire County, Massachusetts. *U. S. Geol. Survey. Monographs*, XXIX, 1898, p. 323.

dolite, la cookéite. Ces divers minéraux, et particulièrement les tourmalines, deviennent de plus en plus abondants à mesure que l'on se rapproche de l'axe du filon qui est constitué par du quartz enfumé.

Le filon de Chesterfield Hollow présente sur ses bords une association de microcline, de muscovite en grandes lames et de quartz, puis viennent des traînées irrégulières d'aplite albitique, avec muscovite verte, triphane, béryl en très gros cristaux, zircon uranifère ; ensuite paraît la zone à cleavelandite, avec muscovite, spessartite, zircon, béryl, triphane ; enfin l'axe du filon est formé, comme précédemment, par du quartz enfumé, mais il englobe des cristaux de triphane, de béryl vert, de muscovite, de columbite et de zircon.

Un dernier gisement est à signaler à Walnut Hill, près de New Huntington ; c'est celui qui, dans les anciennes collections de minéralogie, est indiqué sous le nom de Norwich.

Sur le bord du filon, on observe une zone riche en albite et en tourmaline noire, muscovite et spessartite, cette bordure est à grands éléments ; puis vient la zone à cleavelandite, renfermant les beaux cristaux de triphane à formes géométriques nettes, qui ont rendu célèbre ce gisement ; ils sont accompagnés de tourmaline noire et bleue, de triphylite, de cyrtolite, de spessartite, d'apatite, de muscovite bleu verdâtre ; enfin le milieu du filon est formé par du quartz enfumé, dans lequel est engagée l'extrémité des cristaux de triphane, avec un peu de béryl, de muscovite et de cyrtolite.

Goshen. — La pegmatite normale renferme de la muscovite et du béryl vert, puis, dans la zone à cleavelandite, se trouvent d'énormes cristaux de triphane, en partie transformés en cymatolite, des tourmalines vertes ou bleues, du béryl vert et blanc (*goshénite*), de la spessartite, de la muscovite, de la columbite et de la cassitérite. Au centre, le quartz enfumé renferme de petits cristaux des minéraux précédents et particulièrement de béryl vert et d'indicolite.

En définitive, ce qui caractérise ces pegmatites du Massachusets c'est, au point de vue minéralogique, l'abondance du triphane, la pauvreté du feldspath potassique et l'abondance de l'albite, la rareté ou l'absence de la lépidolite, l'absence de phosphates ; enfin, au point de vue structural, la disposition symétrique des zones lithiques, avec le quartz enfumé comme produit de dernier remplissage et l'absence des cryptes à cristaux.

Connecticut. — La localité de Haddam, sur la rive orientale de la rivière Connecticut, est célèbre depuis longtemps par ses cristaux de cymophane et de spessartite qui se trouvent dans une pegmatite potassique. Il y a une vingtaine d'années

a été découvert sur l'autre rive, à Haddam Neck, au milieu des gneiss, un dyke de pegmatite à muscovite (fréquemment associée graphiquement avec le quartz) qui présente la même structure et les mêmes particularités que ceux des pegmatites du Maine.

Il contient des cryptes renfermant de gros cristaux de tourmalines gemmiformes (roses d'un bleu-vert, vertes, violettes, incolores), d'apatite (rose ou d'un gris-vert), de béryl césifère, de quartz, de fluorine, de microlite, de columbite, etc., minéraux qui ont été étudiés par M. L. Bowman [1] ; ce savant a signalé en outre de la muscovite verdâtre, bordée de lépidolite lilas, comme au Mont Mica, ainsi que de la muscovite rose, fibreuse, orientée sur la lépidolite.

L'existence de cookéite montre que des phénomènes de corrosion se sont également produits dans les cryptes.

Branchville. — La pegmatite de Branchville est célèbre par deux particularités minéralogiques : 1° par l'existence d'énormes cristaux de triphane rosé, localement translucide présentant souvent plus d'un mètre de longueur et présentant des phénomènes de transformation en albite et eucryptite ou en cymatolite décrits par Brush et Dana ; par l'abondance de ce minéral cette pegmatite rappelle celles du Massachusetts : 2° par celle de nombreux phosphates [2] (apatite, amblygonite, triplite, éosphorite, lithiophylite, huréaulite) dont plusieurs sont restés spéciaux à ce gisement : triploidite, reddingite, dickinsonite, natrophylite, fairfieldite. Il existe en outre de nombreux autres minéraux : béryl, microlite, columbite et manganocolumbite (avec triphane), uraninite, bismuth natif, etc. Les éléments communs sont le quartz, le microcline et l'albite, la muscovite et la tourmaline. Ces divers minéraux se trouvent irrégulièrement distribués dans la pegmatite, sans que je puisse donner de précision à cet égard, mon attention n'étant pas éveillée sur cette question lorsque j'ai visité ce gisement en 1888.

South Dakota. — On vient de voir combien est fréquente dans les pegmatites lithiques de la Nouvelle Angleterre l'association de la columbite et de la cassitérite avec l'amblygonite, puis dans celles du Massachussetts et du Connecticut avec le triphane. Les pegmatites du South Dakota [3] réunissent ces deux caractères qui sont accompagnés de particularités minéralogiques très intéressantes.

Les pegmatites dont il s'agit se trouvent dans la partie centrale des Black Hills, dans le district du Harney Peak, notamment près de Keystone, de Custer et d'Oreville. Leurs dykes sont interstratifiés dans des schistes et quartzites pré-

1. On an occurrence of minerals at Haddam Neck, Connecticut, *Miner. Magaz.*, t. XIII, 1902, p. 97.
2. *Amer. J. of Sc.*, t. XX, 1880, p. 257.
3. Victor Ziegler. Lithia deposits of the Black Hills. *The Engeneering and Mining Journal*, New-York, t. XCVI, 1903, p. 1055. Voir aussi du même auteur : The minerals of the Black Hills. *South Dakota School of Mines, Bull.* n° 10, Dep. of Geol. and Miner., 1911.

cambriens, à la périphérie de massifs granitiques ; ils présentent des exemples remarquables (Equality Lode, près de Keystone) du passage progressif de pegmatites à des filons de quartz, qui renferment de la muscovite, de la tourmaline, de la griphite — phosphate de manganèse, fer, sodium, calcium, etc. spécial aux Black Hills — et une quantité plus ou moins grande de nombreux autres minéraux : barytine, cassitérite, wolfram, hübnérite, or, tellurures de bismuth, sidérite et divers carbonates.

Ces pegmatites sont essentiellement caractérisées par l'abondance de phosphates et silicates lithinifères (amblygonite, griphite, triphylite), de la pétalite, de la lépidolite et surtout du triphane généralement blanc, qui devient parfois prédominant et remplace alors le feldspath[1].

La mine Etta peut être prise comme exemple. La pegmatite forme au milieu des schistes une masse à section ovale, mesurant 120 mètres de plus grand diamètre ; elle a été successivement exploitée pour le mica, pour la cassitérite et enfin pour son triphane.

Cette pegmatite possède une structure que nous n'avons pas encore rencontrée, une structure zonaire concentrique ; sur les bords, elle est constituée par une roche à gros grain, formée de microcline, d'albite, de quartz, avec beaucoup de biotite et de muscovite ; elle passe à une pegmatite géante, surtout formée de quartz laiteux et de cristaux de triphane, dont la longueur atteint[2] jusqu'à 12 mètres 50 et qui s'entrecroisent dans tous les sens. Irrégulièrement distribuées au milieu de cette roche se trouvent des masses, à aspect de greisen, formées de quartz et de muscovite (par places en grandes lames), avec cassitérite et columbite, triphylite (formant des masses de plus de 30 centimètres de diamètre), petits cristaux d'amblygonite, de tapiolite, de strüvérite, de cuprocassitérite. Les cristaux de triphane sont parfois entourés par une gaine de muscovite en petites lamelles, parsemée de grains de columbite, de cassitérite et de stannite. Enfin, le centre de la masse pegmatique est très feldspathique (microcline, oligoclase), avec beaucoup de triphane, du quartz, de gros béryls, de la lépidolite écailleuse et de l'albite.

La mine Hugo possède la même disposition générale, mais avec des particularités spéciales ; l'amblygonite y constitue le minerai de lithium qui a été exploité. Au contact des schistes, se trouvent des bandes concentriques régulières, riches en tourmaline noire, puis vient une zone de grands cristaux de muscovite qui a été exploitée pour mica. Une pegmatite à gros grain vient ensuite, passant à une pegmatite géante, formée de quartz, de microcline, de grandes lames de muscovite, avec des bandes quartzeuses, riches en cassitérite, en columbite (masses pesant jus-

1. L'amblygonite, la triphylite et le triphane sont exploités pour l'industrie du lithium.
2. L'un d'eux a fourni 25 tonnes de triphane.

qu'à 50 kilogrammes), beaucoup de béryl blanc et vert, de l'apatite bleue, de la lépidolite verdâtre, de la triphylite (blocs pesant 30 kilogrammes) et d'énormes cristaux de triphane qui rappellent ceux de la mine Etta. Enfin, au centre, s'observent des masses de quartz laiteux, avec feldspaths, béryl, apatite bleue, cassitérite, columbite, lépidolite et surtout amblygonite, distribuée très irrégulièrement en masses qui atteignent près de 100 kilogrammes.

Par leur richesse en amblygonite, ces gisements du Dakota sont à rapprocher du gisement français de Montebras dont il sera question plus loin.

Californie. — Les gisements de pegmatites gemmifères se trouvent dans le comté de San Diego, au voisinage de la frontière mexicaine.

M. Schaller, qui a entrepris un ouvrage sur ces gisements, m'a aimablement fourni sur eux d'utiles indications ; elles m'ont permis de visiter les principaux filons de cette région, exploités à Ramona (Little Three Mine), à Mesa grande (San Diego, Himalaya, Esmaralda Mines), à Rincon (Victor Mine) et à Pala (Catherine, Pala Chief, Stewart, Tourmaline Queen's, Tourmaline King's, El Molino Mines). En 1913, presque toutes ces exploitations étaient en sommeil.

Les pegmatites de cette région présentent entre elles de telles analogies qu'il me paraît superflu de passer en revue individuellement les divers filons que j'ai étudiés ; il est possible de donner une vue sur leur ensemble.

Ces filons de pegmatites traversent, en général, des gabbros. Il s'agit de pegmatites à microcline, tourmaline noire et muscovite ; ce mica est beaucoup moins abondant que dans les pegmatites de la Nouvelle-Angleterre, aussi, à ce point de vue, les pegmatites californiennes se rapprochent-elles davantage de celles de Madagascar. La tourmaline présente de fréquentes associations graphiques avec le quartz et parfois même (Esmeralda Mine), la plus grande partie du quartz entre dans de telles associations. La roche renferme de nombreux minéraux accessoires : spessartite, béryl léger, allongé suivant l'axe vertical (Ramona, Catherine Mine), etc.

La caractéristique de ces pegmatites réside dans une hétérogénéité minéralogique et structurale qui, au lieu de s'effectuer d'une façon capricieuse, comme à Madagascar, est soumise à une certaine ordonnance, présentant d'ailleurs de fort nombreuses modalités.

Il est des filons dont la structure est uniquement pegmatique (Esmeralda, Tourmaline Queen's Mine), mais, avec des variations dans le grain et dans la composition minéralogique, mais, le plus souvent, les filons résultent d'une association régulière de pegmatite et d'aplite : cette dernière peut ne renfermer, en fait de minéral accessoire, que de la tourmaline noire (Little Three Mine), ou bien de la tourmaline et de la spessartite (San Diego Mine), ou enfin de la spessartite seule (Victor et El Molino Mines). La tourmaline et la spessartite rouge orangée sont

distribuées dans l'aplite suivant des directions, en gros, parallèles à l'axe du filon, mais elles présentent parfois des sinuosités très accentuées ; à cet égard, ces aplites rubanées rappellent les roches à lépidolite d'Ambazac décrites page 353. C'est au milieu des zones de pegmatite à tourmaline qu'apparaissent, sous forme d'amas irréguliers, divers minéraux lithiques, annoncés par l'association de lépidolite rosée en petites lamelles à de la cleavelandite et à du quartz. Dans ce mélange apparaissent des cryptes à cristaux.

Les diverses zones constituant un même filon ne sont pas associées d'une façon quelconque ; il est des cas où l'ensemble est parfaitement symétrique ; j'en ai vu un exemple à la mine Himalaya ; dans l'axe du filon, on observe des amas de lépidolite creusés de cryptes à cristaux, puis, de part et d'autre, une zone de pegmatite à tourmaline noire et enfin, sur les deux bords du filon, une pegmatite à grain fin. Dans un autre filon, j'ai vu, de part et d'autre d'une zone centrale lithique, une pegmatite formée uniquement de quartz et de microcline, puis une zone de pegmatite riche en muscovite, une zone de pegmatite à tourmaline noire sans mica, une autre à structure graphique avec muscovite, une zone d'aplite et enfin, sur les bords, une pegmatite à grain fin.

A l'entrée du tunnel de la Mine El Molino, on peut constater une alternance, maintes fois répétée, d'aplite et de pegmatite.

Ailleurs, la disposition est dissymétrique ; c'est ainsi qu'à la Pala Chief Mine, on voit au centre du filon des taches lithiques (avec des cryptes) enveloppées par une pegmatite à tourmaline noire que bordent, d'un côté une pegmatite graphique, et de l'autre une aplite rubanée.

Je pourrais multiplier ces exemples, ils suffisent pour donner une idée de l'un des traits caractéristiques des pegmatites californiennes.

Revenons à la zone lithique, sur laquelle se concentre l'intérêt. Le plus souvent, la lépidolite forme des amas de petites lamelles qui se touchent sans laisser aucune lacune ; tel est le cas de la roche qui se trouve aujourd'hui dans toutes les collections et dans laquelle de longues baguettes opaques de rubellite, groupées autour d'un centre, se détachent sur un fond de lépidolite rose à grain fin. A la Stewart Mine, cette roche forme, dans une pegmatite à tourmaline noire, une large veine irrégulière. Dans d'autres filons, les amas de lépidolite sont à plus gros éléments, et de couleur plus foncée ; la structure est miarolitique, la lépidolite englobe alors des cristaux, transparents ou translucides, de rubellite et de tourmaline verte, qui sont en partie libres dans de petites cavités (Tourmaline King's Mine).

La composition minéralogique des zones lithiques, plus ou moins riches en lépidolite, n'est pas toujours aussi simple ; on y voit parfois apparaître du triphane (Pala Chief ; Catherine Mine ; à l'entrée de cette dernière, se trouve un cristal

de triphane en partie transformé en halloysite mesurant près d'un mètre de long), de la triphylite (quelquefois dans pegmatite graphique, Catherine Mine) et ses altérations (El Molino, Stewart Mines), de l'amblygonite (Stewart et Tourmaline Queen's Mine), du bismuth natif (Rincon), de la manganocolumbite (Catherine Mine). Dans cette zone, les tourmalines diversement colorées, souvent en gros cristaux, sont fréquemment englobées dans du quartz (Himalaya Mine).

Cryptes à cristaux. — Les cryptes ouvertes au milieu de cette lépidolite sont quelquefois bordées par une zone de cleavelandite ; elles sont tapissées par de très gros et très beaux cristaux de microcline (macles de Carlsbad, de Baveno, de Four-la-Brouque, à la Mine Himalaya, etc.), d'albite, de quartz, de lépidolite ; il faut citer surtout les merveilleux cristaux de tourmaline (Mesa grande, Pala) rose, verte ou polychrome, puis le béryl rosé césifère, aplati suivant la base (Pala Chief et Catherine Mines), les magnifiques cristaux de kunzite (Pala Chief Mine), la topaze (Ramona), la spessartite (Ramona, etc.). Ces cristaux sont fréquemment brisés et empâtés par de l'argile (montmorillonite ou halloysite). J'ai fait remarquer déjà, page 519 du tome I, l'analogie du mode de gisement que présentent la kunzite de Madagascar et celle de Pala.

Des phénomènes pneumatolytiques de corrosion, comparables à ceux de Maharitra, peuvent être remarqués, notamment à Mesa grande (San Diego et Himalaya Mines) ; ils consistent essentiellement dans la transformation du microcline en une masse cloisonnée d'albite, imprégnée ou saupoudrée de cristaux néogènes de tourmaline d'un rose pâle, sur lesquels sont souvent déposées des lamelles de lépidolite. La cookéite se rencontre, çà et là, à la surface des cristaux de tourmaline ; enfin il existe assez fréquemment des cristaux de stilbite (Rincon, San Diego, Tourmaline Queen's et King's Mines). Je n'ai pas observé des cristaux d'apatite, comme ceux qui sont si caractéristiques des pegmatites du Maine.

Enfin, dans la Mine Elephantine, à Ramona, j'ai étudié un phénomène comparable, dans une certaine mesure, à celui qui a été décrit page 313 à Maharitra. Au voisinage d'une grande crypte, le quartz d'une pegmatite graphique a été entièrement dissous, sans que le feldspath ait été détruit, mais il ne s'est pas produit de tourmaline dans des cavités ainsi formées, comme dans le gisement malgache.

En résumé, les analogies minéralogiques sont grandes entre les formations drusiques des pegmatites de Californie et de celles de Madagascar ; association dans les deux régions de tourmalines lithiques et notamment de rubellite[1], du béryl

1. J'ai fait remarquer tome I page 416 que tandis que dans les cryptes à cristaux, les tourmalines de Madagascar sont implantées par leur pôle analogue, à Mesa grande, les beaux groupes bacillaires de rubellite sont

césifère[1], de la kunzite, de la spessartite, existence du bismuth natif, de la manganocolumbite[2] ; ces divers minéraux présentent, en outre, une grande analogie de formes et de propriétés, sous cette réserve cependant que tandis qu'à Madagascar, la lépidolite se trouve presque toujours à l'état de très grandes lames, pouvant avoir plus d'un décimètre de diamètre, en Californie, elle se présente sous la forme de menues paillettes.

Le dernier stade de la formation de la pegmatite a consisté dans les deux pays en des phénomènes de corrosion et ceux-ci sont comparables, sinon identiques.

Mais tandis qu'à Madagascar, les pegmatites lithiques sont essentiellement des pegmatites à tourmaline, dans lesquelles les minéraux lithiques sont fréquemment distribués dans toute la masse et tandis que, lorsqu'il y a localisation de ceux-ci, elle se fait au milieu de pegmatites dépourvues de mica, en Californie, les zones lithiques ne sont jamais que des accidents locaux de pegmatites renfermant à la fois tourmaline et muscovite. La structure rubanée, symétrique ou non, mais toujours ordonnée, est en outre l'une des caractéristiques les plus nettes qui appartient en propre aux pegmatites californiennes.

Enfin à côté de ces analogies, des différences minéralogiques sont à relever : l'absence à Madagascar de phosphates, autres que l'apatite, l'absence de la topaze (sauf à Mahabe), des zéolites (dans la phase de corrosion) ; l'absence, en Californie, de la forme amazonite du microcline et surtout l'absence de borates et de silicoborates autres que les tourmalines, alors qu'à Madagascar sont associées à celles-ci la rhodizite, la hambergite, la danburite, la bityite.

β. **Brésil.** — Les éluvions et les alluvions de la province de Miñas Gerães sont depuis longtemps célèbres par les beaux cristaux de tourmaline lithiques qu'ils renferment, associés à beaucoup d'autres gemmes. J'ai donné page 302 des renseignements sur les principaux gisements des uns et des autres.

Par analogie avec tout ce qui a été exposé plus haut, il me paraît vraisemblable que ces tourmalines et le triphane jaune proviennent d'un même genre de gisement, distinct de celui des autres gemmes, mais je ne puis pas donner de preuves

toujours insérés sur leur gangue par leur pôle antilogue, de telle sorte qu'ils sont terminés par une large base terne, forme qui est extrêmement rare dans les cristaux malgaches.

1. Les cristaux sont aussi aplatis suivant a^1 ; ceux que j'ai observés ont un facies prismatique net ; par leur couleur rose jaunâtre, ils rappellent les cristaux de Maharitra ; ils ne possèdent pas la belle couleur rose vif des cristaux d'Anjanabonoina. Le type rose de Tsilaizina, à faible densité, n'existe pas en Californie, mais, comme à Madagascar, le béryl inclus dans la pegmatite, en dehors de la zone lithique, est plus léger que celui des druses.

2. Ce minéral se présente en magnifiques cristaux, en Californie ; il est extrêmement rare à Madagascar et minuscule dans le seul gisement de Manjaka.

directes à cet égard, la seule observation précise que j'ai pu recueillir sur les pegmatites sodo-lithiques de cette région est la suivante.

Le Muséum a reçu récemment du gouvernement brésilien quelques beaux cristaux de rubellite homogènes ou tachetés de vert provenant de Barra de Salinas. Ils sont accompagnés d'un échantillon de gangue, constitué par un groupement de cristaux d'albite crétée (cleavelandite) que recouvrent des aiguilles de tourmaline rose ou d'un vert bleuâtre et des paillettes de lépidolite. D'autre part, M. Oakenfull[1] a indiqué l'existence dans le même gisement de cristaux tabulaires de béryl rose [probablement césifère], accompagnés de rubellite et de lépidolite. Ces associations rappellent celles des druses des pegmatites sodo-lithiques de Maharitra et il n'est pas douteux que les deux gisements ne doivent être parallélisés.

Enfin j'ai vu un échantillon de pegmatite à lépidolite englobant des baguettes de rubellite, indiqué comme provenant de Peru.

γ. **Oural.** — Le même problème se pose pour les célèbres gisements de la région de Mourzinka dont il a été question page 299, à l'occasion des pegmatites potassiques à cryptes ; on a vu qu'à Alabachka il existe probablement à côté de ces pegmatites des filons sodo-lithiques.

Il faut être absolument affirmatif à cet égard pour les filons de pegmatites de Chaïtanka (48 kilomètres au Sud de Mourzinka) qui traversent une serpentine. Ils renferment des cryptes que revêtent des cristaux de microcline supportant les beaux et souvent gros cristaux de rubellite rouge foncé qui se trouvent dans toutes les collections[2] ; il s'y rencontre aussi des tourmalines d'autres couleurs : brun, bleu violacé, vert, rose, parfois incolore. Ces minéraux sont toujours accompagnés par de l'albite et des croûtes plus ou moins mamelonnées formées par des paillettes de lépidolite. A ce mica sont aussi associés des cristaux raccourcis suivant l'axe vertical de béryl rose, incolore ; nous retrouvons là l'association caractéristique de Maharitra.

La lépidolite constitue aussi dans la masse de la pegmatite des agrégats de petites lamelles rouge foncé, parfois géométriquement groupées sur la muscovite et de gros cristaux d'albite : dans les cavités miarolitiques de ces agrégats, apparaissent de petites aiguilles transparentes de rubellite.

C'est sans doute à des phénomènes pneumatolytiques de corrosion qu'il faut attribuer les pseudomorphoses de rubellite en lépidolite qui ont été signalées dans ce gisement.

Une pegmatite analogue se rencontre à Sarapoulka, à 12 kilomètres de Mour-

1. J.-C. Oakenfull, *Brazil*, 1913.

2. Le catalogue de la collection de minéralogie de l'École des mines de Petrograd signale un échantillon (n° 27), où la rubellite est associée à la *tourmaline* noire et à la *topaze* enfumée.

zinka ; ses druses ont fourni de la rubellite bacillaire supportant de petits cristaux de rhodizite [1] ; c'est là le gisement originel de ce minéral qui s'y trouve comme produit de dernière formation dans des cavités, alors qu'à Antandrokomby et à Manjaka, les seuls gisements étrangers à l'Oural, où ce minéral ait été trouvé, s'il est également associé à la rubellite, il entre dans la constitution même de la pegmatite. Au voisinage de cette pegmatite se trouvent des filons d'améthyste.

Les pegmatites de Lipovka, village situé au Nord-Est de Chaïtanka, renferment des cryptes avec lépidolite mauve, beaux cristaux de tourmalines vertes, roses ou violettes, parfois zonées de diverses couleurs, et enfin béryl césifère. Ce béryl a été étudié par M. Vernadsky [2] qui lui a donné le nom de *vorobievite*.

Enfin, à Youjakovka, à 6 kilomètres au Sud de Mourzinka, il faut signaler une pegmatite avec albite, béryl jaune, lépidolite, en lames atteignant 9 centimètres de diamètre.

δ. **Transbaïkalie.** — La collection minéralogique de l'École des mines de Pétrograd renferme des cristaux radiés, translucides de rubellite (et des cristaux nets isolés du même minéral), associés à de la lépidolite, de l'albite et à du microcline et provenant de la montagne Ouroulga. C'est là une preuve nouvelle de l'analogie minéralogique de cette région, riche en pegmatites potassiques, avec celle de Mourzinka.

ε. **Europe centrale et occidentale.** — A la suite de ces gisements classiques fournissant en abondance de beaux cristaux de minéraux lithiques, il me reste à signaler dans l'Europe centrale quelques gisements plus modestes, mais qui cependant ne sont pas sans intérêt.

Silésie. — Les pegmatites de Striegau renferment des cavités que tapissent des cristaux de feldspath et de quartz bien souvent étudiés, ils sont associés à des cristaux de tourmaline rouge, verte, brunâtre ou noire, inclus dans des lames de lépidolite [3].

Tchéco-Slovaquie. — La pegmatite de Susice (Schuttenhofen) est connue par les travaux que leur a consacrés Scharizer [4] ; elle constitue un filon dans un calcaire dolomitique ; la structure rappelle celle des pegmatites de la Nouvelle-Angleterre qui sont dépourvues de cryptes.

Scharizer y a distingué, de la périphérie au centre, trois zones passant des unes aux autres. La roche normale des bords du filon est formée de quartz, de micro-

1. Gustave Rose, *op. cit.*, p. 439 et 470. *Pogg. Ann.*, t. XXXIII, 1834, p. 253.
2. *Trav. Mus. géol. Acad. Sc. Saint-Pétersbourg*, t. II, 1908, p. 81.
3. Becker. *Dissertation*, *Breslau*, 1868, p. 5.
4. *Zeitschr. f. Kryst.*, t. XIII, 1888, p. 449.

cline, de muscovite et de lépidomélane, avec accessoirement : apatite, monazite et xénotime ; c'est une pegmatite potassique. Une seconde zone est constituée par de la cleavelandite, de la muscovite d'un blanc jaunâtre, de la tourmaline d'un noir bleuâtre, avec spessartite brune et un peu de tourmaline vert clair, incluse dans les lames de muscovite. Enfin, la zone centrale, plus sodique et plus lithique, est formée de cleavelandite, de lépidolite avec des tourmalines d'un vert foncé, rouges ou roses.

Moravie. — Un gisement célèbre[1] est celui du Mont Hradisko près de Rožná qui fournit des échantillons de lépidolite se trouvant dans toutes les collections et qui a été exploité pour l'extraction de la lithine. Il consiste en un filon de pegmatite très quartzeuse de 3 à 4 mètres d'épaisseur, traversant un ortho-gneiss pauvre en quartz. A l'inverse de ce qui est réalisé dans la plupart des autres gisements, les portions lithiques se trouvent, non au centre, mais sur le bord du filon, là où il est le plus épais et en contact immédiat avec le gneiss ; elles consistent en la roche bien connue, à petites paillettes de lépidolite rose, elles forment des nids ou des amas dans une pegmatite à feldspath jaune ou rosé et quartz, englobant par places des baguettes de tourmaline rouge ou bleue ; il existe aussi un peu de topaze, d'apatite bleuâtre, de wolfram ? (dans lépidolite verdâtre), de cassitérite et une petite quantité de quartz et de feldspath potassique. Le passage se fait insensiblement entre la pegmatite et la zone lithique, l'une et l'autre renferment les mêmes minéraux accessoires non lithiques. Il n'existe pas de druses.

Saxe. — Par contre, les pegmatites de Wolkenburg sont caractérisées[2] par des cryptes à cristaux se trouvant dans un dyke de deux mètres d'épaisseur qui traverse le granite. La pegmatite normale comprend : quartz, albite, muscovite (renfermant des aiguilles de tourmaline verte), et beaucoup de tourmaline noire ; dans les cavités, de grandes lames de lépidolite, des cristaux de quartz et de microcline sont associés à des baguettes divergentes et à des cristaux de tourmaline lithique de couleurs très variées ; celles de couleur rouge foncé sont incluses dans le quartz, celles de couleur vert foncé dans le feldspath.

Dans la région granitique de Penig[3], à Limbach, Harmannsdorf, Kleinchurs-

1. M. Slavik m'a récemment communiqué, avec des échantillons, une intéressante note de M. R. Kettner (Mineralogický výlet na Rožnou. *Vědy přirodní*, t. II, 1921) sur ce gisement ; la tourmaline rose, quelquefois verte à l'une des extrémités, ou incolore et atteignant 1 centimètre, se trouve dans le quartz ; la tourmaline rose de la pegmatite forme des groupements à axes parallèles ; elle constitue aussi presque entièrement une roche ne renfermant qu'un peu de lépidolite verte et de feldspath ; dans la lépidolite rose, elle est toujours de cette même couleur. On a trouvé récemment dans la pegmatite des lames de lépidolite dont les faces mesurent près d'un centimètre de diamètre.

2. Credner. *Zeitschr. d. d. geol. Gesell.*, t. XXVII, 1875, p. 180.

3. Foetterle. Bericht über die geol. Aufnahme d. Gegend N.-W. von Brünn. *5-Jahres-Bericht des Werner Vereins* für 1855, p. 69.

dorf, Rochsburg et Mylan, des pegmatites renferment des druses, avec des cristaux de tourmalines noires, rouges, bleues, incolores, parfois zonées, ils sont implantés sur des cristaux de quartz, de microcline et d'albite. L'amblygonite, la topaze et l'apatite ont été signalées dans les mêmes gisements.

Bavière. — Sandberger a signalé [1] près de Eulenlohe un filon de pegmatite dans calcaire renfermant quartz, oligoclase ?, tourmaline bleue et verte avec lépidolite (ou zinnwaldite).

ζ. **Tyrol et Irlande.** — *Pegmatites à triphane*. — Deux gisements sont connus qui renferment des roches presque identiques dont le seul minéral lithique est le triphane.

Le premier se trouve en Irlande, à Killiney, dans le comté de Dublin, le granite à muscovite est traversé par un filon de pegmatite constitué par du quartz, du microcline blanc, du triphane gris verdâtre (présentant un produit d'altération qui a reçu le nom de *killinite*), de la muscovite, de l'almandin et accessoirement un peu de tourmaline noire [2] ; ce dernier minéral n'existe pas dans les nombreux échantillons que j'ai examinés. Le triphane est assez abondant ; il a été exploité pour l'extraction de la lithine.

Le second gisement se trouve dans le Tyrol, à Ratschinges, près Sterzing ; la pegmatite a la même composition que celle de Killiney, mais le microcline est rose et le triphane généralement vert pâle ou bien blanc ou rosé.

η. **Scandinavie.** — *Finlande*. — Dans la région de Tammela, dont il a été question page 296 accompagnant les pegmatites à muscovite de Keityönmäki, se trouve un filon étroit d'aplite décrit par M. E. Eero Mäkinen. Son feldspath est de l'albite aplatie suivant g^1, accompagnée de peu de quartz et de microcline et associée à la tourmaline bleue, au triphane, à la triphylite (et hétérosite) et à l'apatite vert bleuâtre. Cette description rappelle les apophyses des pegmatites lithiques d'Antsongombato et de Manjaka. On peut se demander si la pegmatite voisine de Penikoja, dans laquelle a été signalé du triphane, n'est pas une pegmatite lithique à muscovite comparable, dans une certaine mesure, à celle de Branchville.

Suède. — Les seules pegmatites sodo-lithiques connues en Scandinavie se trouvent à l'île d'Utö. Deux épais filons y traversent le minerai de fer de Nyköping [3] ; ils sont constitués par une roche à grain variable dont les éléments sont

1. *Bayer. Akad. München*, 1871, p. 193.
2. Greg et Lettsom. *A Manual of the mineralogy of Great Britain and Ireland*, London, 1858, p. 128.
3. P.-J. Holmquist. *Geol. För. Forhandl. Stockholm*, t. XXXII, 1910, p. 867 ; Hj. Sjögren. *Bull. Géol. Inst. Univ. Upsala*, t. XV, 1919, p. 316.

parfois orientés ; ce sont : quartz, microcline (microperthite d'albite) blanc, rouge ou verdâtre, tourmaline d'un bleu clair (indicolite) ou rouge (dans pétalite), ou d'un bleu noir (dans lépidolite), beaucoup de pétalite, avec triphane, manganotantalite, adelpholite, microlite, zircon, cassitérite, fluorine, datholite, apophyllite, etc. Le feldspath et la pétalite constituent parfois des individus porphyroïdes ; la pétalite est de préférence associée au quartz. Enfin, tout récemment, M. Backlund [1] y a rencontré l'amblygonite, couverte ou pénétrée de paillettes de lépidolite rose, et localisée dans des portions de la roche très feldspathiques et pauvres en pétalite. Il a observé un peu de béryl césifère dans de l'amblygonite corrodée. La pétalite est en partie transformée en une amphibole blanche, qui est sans toute analogue à la *holmquistite,* sorte de glaucophane lithique, signalée par M. Osann dans la zone de contact des pegmatites et des schistes.

La pegmatite d'Utö dont les minéraux ont été souvent étudiés présente un intérêt historique, car c'est dans sa pétalite qu'A. Arfvedson, élève de Berzélius, a découvert la lithine [2]. Cette roche peut être comparée pour la non-localisation de ses minéraux lithiques aux pegmatites du type Antandrokomby qui, toutefois, ne renferment pas de pétalite.

6. **Ile d'Elbe.** — Le célèbre gisement de tourmalines lithiques de l'île d'Elbe se trouve dans les cryptes des veines de pegmatite à tourmaline noire du granite à biotite des flancs du Mont Capanne, entre San Ilario et San Piero. De longues discussions ont eu lieu [3] sur la question de savoir s'il s'agit là de véritables filons ou seulement de grandes druses ou de cryptes allongées et incomplètement remplies par des actions pneumatolytiques, phase ultime de la consolidation du granite. Cette dernière hypothèse est la plus vraisemblable.

La composition minéralogique du remplissage incomplet des druses pendant la phase de pneumatolyse constructive présente de très nombreuses variations ; dans l'ensemble, on observe les minéraux suivants en beaux cristaux : quartz, orthose et albite, puis tourmalines lithiques souvent polychromes [incolores, roses, jaune

1. *Ibid.*, t. XL, 1918, p. 757.
2. *Afhandl. Fys. Kemi och Mineralogi,* Stockholm, t. V, 1818, p. 145.
3. Une volumineuse bibliographie et de nombreux renseignements intéressants ont été donnés par M. Giovanni d'Achiardi (*Le tormalina del granito Elbano*), Pisa, t. I, 1893, t. II, 1896, p. 69. Cf. aussi F. Millosevich. *I 1 500 Elbani del Museo di Firenze.* Firenze, 1914.

Ces gisements sont alignés sur environ 80 mètres de haut en bas, depuis San Piero (Cava della Speranza à Fonte del Prate) jusqu'à Grotta d'Oggi. Ce sont les portions supérieures qui fournissent surtout les minéraux lithiques césifères ; à Grotta d'Oggi, le béryl est vert et bleu, la tourmaline verte et noire, accompagnée de spessartite. D'après M. Fersman (*Materialy k. mineralogii ostrove Elby* (*Bull. Soc. imp. natural. Moscou*, 1909, p. 94), le pollux se serait formé à la fin de ce que j'appelle la phase de pneumatolyse constructive, entre deux venues de lépidolite, la pétalite au contraire serait contemporaine des premières tourmalines roses.

verdâtre, noires, chacune de ces couleurs pouvant être associée dans la même géode ou caractériser des géodes distinctes (tourmaline noire)]. Il faut y ajouter la lépidolite qui est rose, lorsqu'elle est associée aux tourmalines roses ou à celles dans lesquelles le rose prédomine, le béryl des mêmes géodes est rose ou incolore; par contre, la lépidolite est blanche, quand elle accompagne la tourmaline verte; le béryl est vert ou bleu, si la tourmaline à laquelle il est associé est verte ou d'un bleu noir. De nombreux autres minéraux plus rares viennent compléter ces associations : pétalite (castor), pollux, spessartite, fluorine, apatite, topaze, cassitérite, microlite et magnétite.

Des phénomènes pneumatolytiques destructeurs ont été constatés surtout dans les cryptes de Grotta d'Oggi; ils consistent en corrosion des minéraux préexistants (notamment la pétalite et le pollux; leur surface rappelle alors celle du triphane des gisements malgaches et californiens), en transformation de la tourmaline rose en lépidolite, en production de cookéite, d'hydrocastorite[1] et de zéolites (chabasie, pseudonatrolite, stilbite, dachiardite, forésite, heulandite, orizite et enfin laumontite).

$\varkappa$. **France.** — Je ne connais en France que quatre gisements de pegmatites à minéraux lithiques; chacun d'eux appartient à un type différent.

Limousin. — A proximité des gisements de pegmatite du Limousin décrits page 292, se trouvent de curieuses roches à lépidolite qui sont en relation avec des pegmatites à muscovite constituant des filons dans le granite à deux micas de Chédeville, de la Chèze en Ambazac et de Larmont en Saint-Sylvestre.

Ces roches sont assez hétérogènes et oscillent entre deux types : l'un à éléments moyens est riche en lépidolite dont les lames atteignent un centimètre de diamètre; elles sont associées à de l'albite blanche et à du quartz; l'autre est formé par de fines paillettes de lépidolite rose, il rappelle la roche de Rožná; au milieu de cette lépidolite se détachent parfois (carrière du Coudier) des cristaux porphyriques de topaze atteignant un centimètre.

En l'absence de coupes fraîches dans ce pays très couvert, il est assez difficile de se rendre compte des conditions de gisement de ces roches à lépidolite, mais j'ai de bonnes raisons de penser qu'elles constituent la bordure de filons de pegmatites à la façon de la roche à lépidolite de Rožná. A Larmont en Saint-Sylvestre en effet, j'ai vu entre la pegmatite et le granite à deux micas une roche à lépidolite un peu différente, possédant une structure rubanée à zones contournées rappelant celle qui vient d'être décrite dans les aplites de Californie, bien que la composition de la roche ne soit pas la même. Le contact avec le granite est formé par une zone de grands cristaux d'albite et de quartz, englobant des cristaux

1. Ces minéraux forment parfois aux cristaux de tourmaline lithique une enveloppe continue, comme celle de bityite à Maharitra (Cf. tome I, pl. 18, fig. 6).

d'apatite bleuâtre de deux centimètres de longueur, implantés sur la paroi du granite. Il existe aussi de la columbite tantalifère, de la tantalite, ainsi que de la cassitérite ; puis se succèdent alternativement des zones uniquement constituées par de l'albite et du quartz et d'autres contenant en outre des paillettes de lépidolite. Je n'ai pu malheureusement voir le contact de cette roche rubanée avec la pegmatite affleurant à quelques mètres plus loin.

L'analyse A) donne la composition [I.3 (4). (1) 2.3] du granite à deux micas de Chédeville, près Ambazac ; par analogie avec ce qui est établi plus loin pour les roches d'Orvault, on peut supposer que la composition chimique de la pegmatite est sensiblement la même. B) représente la composition du type moyen de la roche à lépidolite qui vient d'être décrite ; on voit que cette roche est riche en potassium, bien qu'elle ne renferme ni microcline ni orthose et seulement de l'albite en fait de feldspath ; tout le potassium se trouve dans la lépidolite. Si l'on calcule cette analyse par le procédé habituel, en traitant le lithium à la façon du sodium non feldspathisé, on obtient une composition virtuelle [1 (11). (4) 5.1 (2). 3] comportant beaucoup moins de quartz que dans la réalité et renfermant en outre un métasilicate d'aluminium et de lithium. Il faut en conclure qu'au fluor près, ce granite à lépidolite constitue une forme hétéromorphe de la pegmatite à triphane, l'abondance du fluor ayant été sans doute la cause déterminante qui a permis la composition actuelle (albite et lépidolite) au lieu de microcline, albite et triphane ; ceci est intéressant pour l'interprétation de pegmatites à triphane dont il a été question page 351.

Enfin je donne en C) la composition d'une roche analogue, mais très riche en albite et moins lépidolitifère [1 (11). (4) (5). 1.4 (5)] : elle vient du même gisement.

Ces analyses ont été faites par M. Raoult.

	A	B	C
SiO^2	72,16	65,38	67,68
Al^2O^3	15,32	19,00	19,01
Fe^2O^3	0,57	0,22	0,11
FeO	1,41	0,47	0,57
MgO	0,54	0,14	0,16
CaO	1,34	1,32	1,12
Na^2O	2,94	4,39	7,29
K^2O	4,22	5,75	1,98
TiO^2	tr.	»	»
P^2O^5	0,33	0,42	0,61
H^2O+	0,95	0,34	0,72
—	0,11	»	«
Li^2O	0,16	1,68	0,56
MnO	»	0,37	0,23
F	»	1,14	0,47
	100,05	100,62	100,51

Creuse. — Les détails qui ont été donnés plus haut sur les pegmatites à amblygonite du Dakota, passant à des filons quartzeux, sont intéressants en ce qu'ils apportent un argument en faveur du rattachement des filons stannifères de Montebras en Soumans[1] à des formations de pegmatite.

Au milieu d'un granite à pinite, se trouve un petit amas de granite à deux micas, passant à une variété microgranitique rose, riche en quartz bipyramidé, en albite et souvent en topaze microscopique. Dans ces deux roches, et aussi à leur contact, s'observent de nombreux filons quartzeux dont la puissance varie de quelques centimètres jusqu'à plusieurs mètres. Ils sont assez variés de composition : quartz et microcline ; quartz, microcline rouge ou violacé, apatite bleue, muscovite et un peu d'amblygonite ; quartz, amblygonite et montebrasite et leurs produits d'altération (turquoise, wawellite, morinite) et aussi plus ou moins de feldspath ; enfin, greisen formé de quartz, de muscovite blanche, jaune ou verdâtre, avec parfois beaucoup d'apatite bleue manganésifère. Tous ces filons contiennent de la cassitérite tantalifère dont la recherche a déterminé les exploitations, et aussi des traces de stannite. Je n'ai rencontré qu'un seul échantillon de columbite englobé dans l'amblygonite, mais cette observation est à retenir ; on retrouve là en effet l'association de ce minéral à la cassitérite si fréquente dans les pegmatites lithiques du Nord et de l'Est des États-Unis.

Il semble donc qu'il n'y a pas de doute sur la légitimité de la comparaison qui a été indiquée plus haut[2] ; je rappellerai d'ailleurs l'existence de l'amblygonite, comme rareté il est vrai, dans une pegmatite du Limousin, à Chabanne.

Ici, la formation stannifère peut être comparée à la phase pneumatolytique terminale de l'histoire de la pegmatite ; le greisen à cassitérite et à apatite est en grand, et localisé dans des fentes, l'équivalent des minéraux de corrosion de la dernière phase de la formation des cryptes des pegmatites de la Nouvelle-Angleterre.

Tarn. — Au Clap, près de Castelnau de Brassac, un filon de pegmatite traversant le gneiss, est constitué par du microcline, du quartz, de la muscovite, de la tourmaline d'un bleu sombre ou d'un vert foncé, avec un peu de biotite, de columbite et des cristaux de béryl. Ces minéraux accessoires sont surtout abondants sur les bords des filons.

Dans la partie axiale du filon, tous ces minéraux normaux de la roche ont subi une altération profonde ; les feldspaths sont remplacés par de la muscovite, du

1. *Minér. de la France et des Colonies*, t. III, 1901, p. 228. J'ai décrit dans cet ouvrage les minéraux accessoires de ce gisement (soumansite, libethénite, etc.).

2. Certains filons renferment des paillettes de chalcolite, l'uranium si fréquent dans les pegmatites est donc aussi présent ici.

quartz, de l'albite, avec de l'apatite violette, puis, peu à peu, la roche passe à une sorte de greisen, formé de quartz, de lépidolite et de rubellite en agrégats bacillaires dont les baguettes atteignent 6 centimètres ; sa couleur est le rose pâle, mais les extrémités ou le centre des baguettes sont parfois rosâtres ou bleuâtres. Il existe en outre un peu de béryl, d'apatite et des lamelles d'autunite.

Ces faits, qui ont été décrits par M. Arsandaux[1], ne laissent pas de doute sur l'interprétation qu'il faut en donner. Il s'agit là de phénomènes pneumatolytiques, de l'ordre de ceux que j'ai décrits page 310 dans la phase terminale de l'histoire des cryptes à cristaux des pegmatites de Madagascar, mais les phénomènes de corrosion se sont exercés sur la roche elle-même et non plus seulement sur les cristaux des cryptes ; c'est sous une forme un peu différente la répétition de ce qui a été signalé dans la pegmatite de Mandrihariva (Cf. p. 333).

Un dernier épisode a été constitué par la pseudomorphose des baguettes de rubellite en lépidolite et quartz.

Loire-Inférieure. — A Orvault se trouvent, au milieu des micaschistes, des filons épais de granite épais traversés par un filon de pegmatite passant localement à une aplite. Cette pegmatite est remarquable en ce qu'elle ne renferme, en fait de minéraux lithiques, que des tourmalines et celles-ci sont peu abondantes. L'albite n'y est pas mélangée avec les feldspaths potassiques comme dans le Limousin. Ses petites lamelles aplaties suivant g^1 constituent le feldspath d'une aplite à grain fin, un peu grenatifère ; quant à la pegmatite, son feldspath est surtout potassique (microcline) ; il est accompagné de tourmaline noire, de béryl[2] et de grandes lames de muscovite jaune ; ce sont elles qui englobent des baguettes jaunes bacillaires de tourmaline lithique verte, rose ou bleue. Si l'observation citée plus haut au sujet des pegmatites de Manakana, au Nord-Ouest d'Antalaha, est exacte, ces deux types de gisement pourraient être parallélisés à ce point de vue. Je n'en connais d'autre ni en France ni à Madagascar.

Les analyses ci-contre, faites par M. Raoult, montrent que la pegmatite (B) [I'. 4. 1 (2). (3) 4] a sensiblement la même composition que le granite à deux micas (A) [I. '4. (1) 2.3] ; par contre l'aplite s'en distingue essentiellement en ce que l'albite prédomine de beaucoup sur la potasse (analyse C) [I. 4. 1. 5], alors que la potasse l'emporte sur la soude dans la pegmatite ; l'échantillon analysé ne renfermait que de la tourmaline noire.

1. *Bull. Soc. Minér.*, t. XXIV, 1901, p. 429.
2. Ch. Baret qui a décrit ce gisement y a observé de l'autunite et de la bertrandite dans des druses. Le béryl est parfois incolore et transparent, il a fourni quelques gemmes.

	A	B	C
SiO^2.	72,48	72,92	72,28
Al^2O^3.	12,88	13,20	14,16
Fe^2O^3.	0,72	1,41	1,56
FeO..	1,67	0,51	0,78
MgO.	0,42	0,28	0,32
CaO..	2,64	1,92	1,78
Na^2O.	4,41	3,63	7,61
K^2O..	3,65	4,99	0,74
P^2O^5.	0,41	0,59	0,63
H^2O +..	0,53	0,32	0,07
—..	0,03	»	0,30
F.	0,28	0,21	»
B^2O^3.	»	0,51	»
TiO^2.	»	»	tr.
	100,12	100,49	100,23

λ. **Espagne.** — Il faut comparer au gisement de Montebras ceux de Cacérès, (Estramadure). M. Bouhard, qui les a exploités pour l'amblygonite, m'a donné les renseignements suivants : Il existe deux filons ; celui de Trasquilon (7 kilomètres Sud-Ouest de Cacérès) consiste en une véritable pegmatite, traversant un granite à muscovite ; l'amblygonite y est disséminée, avec apatite, cassitérite et un peu de panabase. A Valdeflorès (3 kilomètres Sud-Sud-Ouest de Cacérès), dans les schistes paléozoïques, mais au voisinage du granite, se trouve un filon de quartz renfermant des amas d'amblygonite teintés de turquoise, pesant jusqu'à 200 tonnes, accompagnés de rosettes de lépidolite grise ou blanche. L'apatite et la cassitérite sont rares. A San Baldomoro un filon d'une trentaine de centimètres est uniquement formé d'amblygonite associée à du kaolin dans les parties verticales du filon. La pegmatite de Trasquilon renferme des blocs d'amblygonite atteignant 200 kilogrammes. Des géodes tapissées de jolis cristaux incolores d'apatite se trouvent dans le quartz.

μ. **Asie.** — Quelques régions asiatiques renferment des gisements de pegmatites lithiques, mais les renseignements précis manquent sur eux et je dois me contenter d'une simple énumération.

Ceylan. — Des cristaux roulés de tourmaline verte et rouge sont recueillis dans les alluvions de Ceylan ; ils proviennent certainement de pegmatites lithiques, alors que celles de couleur brune appartiennent à un type magnésien, comparable aux tourmalines de Mosalahy ; le gisement de ces deux types de tourmaline est certainement différent.

Bengale. — Sans doute faut-il comparer à la roche du Limousin celle qui a été signalée par F.-R. Mallet[1] à environ un kilomètre au Sud-Ouest de Pihira près Hazári-

1. F.-R. Mallet. *A Manual of the geology of India.* Part IV. Mineralogy, Calcutta, 1887, p. 109.

bágh. Elle forme un dyke de feldspath blanc, de quartz, et de petites paillettes de lépidolite violette, passant à une sorte de greisen constitué uniquement de quartz et de lépidolite violette ou d'un gris de plomb. Ces deux variétés de la même roche renferment de la cassitérite noire.

Au Sud de Pihira, on exploite des tourmalines bleues et vertes ; elles sont accompagnées de lépidolite englobant de l'indicolite ; cette association me semble rappeler les groupements de ce genre provenant d'Antaboaka.

Birmanie. — Des pegmatites renfermant des tourmalines lithiques et des tourmalines noires ont été signalées dans la vallée du fleuve Nampai, près de Namseka.

ν. **Australie.** — Des tourmalines rouges quelquefois cerclées de vert et des tourmalines vertes sont connues dans l'Australie méridionale à Kangaroo Island [1] et, dans l'Australie occidentale, à Coconarupa (district de Kent). Je n'ai pu trouver aucun renseignement sur leur mode de gisement.

5° Classification des pegmatites a minéraux lithiques.

L'exposé qui a été donné plus haut de ce qui est connu sur les pegmatites à minéraux lithiques permet d'établir une classification de celles-ci.

Une division primordiale peut être basée sur la présence (I) ou sur l'absence (II) des tourmalines lithiques :

I. *Pegmatites à tourmalines lithiques.* — La première peut être subdivisée à son tour suivant que les pegmatites renferment une grande quantité de tourmalines (A) ferrifères ou lithiques distribuées dans toute la roche ou bien (B) que celles-ci ne constituent que des minéraux subordonnés et souvent localisés dans des cryptes ; le minéral essentiel de la roche, après le quartz et le feldspath, étant alors la muscovite.

A. *Pegmatites à tourmalines essentielles.* — Dans ce cas, le magma était suffisamment riche en bore pour que les tourmalines aient pu se former dans toute la roche. Dans une première subdivision, le magma était en outre particulièrement sodique et lithique ; aussi les minéraux lithiques, triphane, pétalite, tourmalines lithiques, avec ou sans lépidolite, sont-ils répartis dans l'ensemble de la pegmatite ; l'albite est très abondante et se concentre souvent dans des aplites constituant le bord des filons ou bien leurs apophyses. Assez rarement, la

1. Anderson. *Records of the Australia Museum*. t. V, 1904, p. 302.

pegmatite est continue dans toute la masse ; plus souvent, le magma ayant été très riche en gaz, il s'est produit soit des cryptes localisées, soit des druses généralisées.

Les pegmatites d'Utö (α), d'Antandrokomby (β), d'Antsongombato (γ), de Tompobohitra (δ), sont respectivement caractéristiques de diverses variétés minéralogiques et structurales de ces roches.

Dans une série d'autres pegmatites (*b*), deux phases sont à considérer dans l'histoire de la roche ; la masse de celle-ci est pauvre en lithium, riche en potassium, le minéral accessoire le plus abondant est la tourmaline noire, puis, par places, la composition change, la proportion des minéraux sodiques et lithiques devient de plus en plus considérable et dans les taches sodolithiques ainsi formées, se rencontrent des cryptes à cristaux (tourmalines polychromes, béryl césifère, triphane, etc.) qui caractérisent le gisement de Maharitra (α).

Il faut rapprocher de ce type le cas réalisé à l'Ile d'Elbe (β), dans lequel la pegmatite se réduit presque à cette phase terminale de production de cryptes, le filon étant remplacé par un placage feldspathique et quartzeux (renfermant de la tourmaline noire) qui tapisse les parois des fissures du granite.

B. *Pegmatites à muscovite* (*à tourmaline accessoire ou absente*). — Le second groupe, dans lequel la proportion du bore est moindre, est caractérisé, comme je l'ai dit plus haut, par l'abondance de la muscovite, la pauvreté ou l'absence de la tourmaline noire ; de même que dans le type de Maharitra, la phase lithique n'y a été que l'épisode terminal de l'histoire de la roche ; les minéraux résultants, fort intéressants en soi, ne représentent qu'une partie infime de la masse des filons ; on distingue des modalités variées dans leur composition et dans leur structure.

Un premier cas (α) est celui où la lépidolite abonde. Dans la région de San Diego, en Californie, la constance et parfois l'abondance de la tourmaline noire dans la roche normale, établissent le passage au groupe précédent : les filons possèdent toujours une structure rubanée, symétrique ou non, avec fréquente association d'aplite et de pegmatite à grands éléments. De larges cryptes s'ouvrent dans les portions riches en lépidolite, elles sont riches en tourmalines polychromes, béryl césifère, triphane, etc.

Dans le Maine (β), la muscovite, au contraire, prédomine en général sur la tourmaline noire et existe souvent seule dans la portion potassique de la pegmatite. Les filons n'ont pas de structure rubanée. La phase lithique s'est traduite par la production de taches irrégulières parfois jalonnées par une étroite zone grenatifère, souvent localisées sur les bords des filons et dans lesquelles sont d'ordinaire

ouvertes de grandes cryptes à cristaux, tapissées par les mêmes minéraux qu'en Californie, mais ici, il faut signaler dans toute la zone lithique la constance de phosphates variés (amblygonite, triphylite, etc.), ils sont aussi caractéristiques de la phase de corrosion terminale.

Le gisement de Rožná (γ) fournit l'exemple d'une phase lithique ayant donné naissance à une roche à grain fin, dépourvue de cryptes, riche en lépidolite et, par places, en rubellite ; elle est localisée sur la bordure d'un filon de pegmatite.

Une autre division, dont le type est fourni par Chesterfield, a pour caractéristique des filons à structure symétrique, riches en muscovite sur les bords, alors que la phase lithique s'est développée dans l'axe du filon, qui contient beaucoup de triphane et de tourmalines polychromes. Dans ce type, l'albite (cleavelandite) est le feldspath dominant, la lépidolite est rare ou absente ; il n'existe pas de cryptes.

Pour terminer, il reste à signaler les pegmatites à muscovite du type Orvault, dans lesquelles les minéraux lithiques (tourmalines), très peu abondants, ne constituent qu'un accident dans la muscovite ou à côté d'elle.

II. *Pegmatites sans tourmalines lithiques.* — Les pegmatites lithiques dépourvues de tourmaline lithique ont été formées aux dépens de magmas probablement beaucoup moins riches en produits volatils que les précédentes. Les druses et les cavités à cristaux en sont absentes.

Je les diviserai en trois groupes, suivant que le minéral lithique dominant ou exclusif est le triphane (*a*), la lépidolite (*b*) ou l'amblygonite (*c*).

Parmi les pegmatites à triphane, le type Killiney (α), renfermant peu de muscovite et de tourmaline noire, a sans doute une composition chimique très voisine de celle du groupe *b* ; l'absence du fluor est sans doute la cause prédominante de la production de microcline et de triphane plutôt que de lépidolite.

Dans le type caractérisé par la pegmatite de Branchville (β), qui est une pegmatite à muscovite, d'énormes cristaux de triphane sont associés à de très nombreux phosphates de fer et de manganèse, souvent lithinifères.

Dans le second groupe, réalisé dans le Limousin, la roche est à grain fin, elle est plus potassique que sodique, en dépit de l'abondance de l'albite qui est souvent le seul feldspath exprimé, la lépidolite écailleuse, très abondante, et la topaze fréquente, indiquent l'influence prédominante du fluor [1] ; la cassitérite est associée à la tantalite ou à de la columbite très tantalifère.

Quant aux pegmatites à amblygonite, elles sont caractérisées par l'association

1. Il faut remarquer que la lépidolite est le seul minéral lithique des cryptes à cristaux des pegmatites potassiques d'Alabachka dans l'Oural, où elle accompagne la topaze et le béryl (Cf. page 299) ; c'est le trait d'union entre les deux grands groupes de pegmatites considérés dans cet ouvrage.

de ce phosphate à la cassitérite. Dans le Dakota (α), il existe en outre beaucoup de triphane, de muscovite, de columbite et de tantalite et la structure des filons est concentrique, tandis qu'au contraire à Montebras (β), une telle structure est absente et aussi tous ces minéraux spéciaux, la pegmatite étant réduite à ses trois constituants essentiels : quartz, amblygonite, microcline. Dans ces deux types, la phase pneumatolytique destructive a été intense et s'est traduite par la production de véritables filons stannifères.

A ce point de vue, il n'est pas sans intérêt de noter la fréquence des micas lithiques : *zinnwaldite* en Bohême, *lépidolite* dans le Cornwall (Saint-Michael's Mount), les Straits Settlements, le Bengale (Chatia Nypor), etc., dans de nombreux filons stannifères dont la parenté avec les formations pegmatiques est moins directe que dans les gisements qui viennent d'être cités ; là encore ces micas se produisent surtout dans la phase terminale et tapissent fréquemment des fissures ou des géodes.

Il n'est pas sans intérêt aussi de faire remarquer que les filons stannifères d'Ehrenfriedersdorf en Saxe renferment la herdérite, l'un des minéraux caractéristiques de la phase pneumatolytique des pegmatites lithiques du Maine.

Le tableau suivant résume les quelques pages qui précèdent.

I. — *Pegmatites à tourmalines lithiques.*

			Minéraux et structure caractéristiques.	Autres gisements caractéristiques.
A Pegmatites à tourmalines (peu ou pas de muscovite)	*a* Minéraux lithiques non localisés.	α) Type *Utö.*	Pétalite, triphane, tourmaline bleue et rose.	
		β) Type *Antandrokomby.*	Triphane, rubellite, rhodizite.	Manjaka (apatite bleue).
		γ) Type *Antsongombato.*	Triphane, localement lépidolite.	Antaboaka (beaucoup de lépidolite et zinnwaldite).
		δ) Type *Tompobohitra.*	Tourmalines rouges et noires ; druses non localisées.	
	b Minéraux lithiques localisés dans des cryptes ou à leur voisinage.	α) Type *Maharitra.*	Dans pegmatite à tourmaline noire, cryptes sodo-lithiques (tourmalines, béryl césifère, lépidolite, danburite, hambergite, bityite).	Anjanabonoina.
		β) Type *Ile d'Elbe.*	Placage de pegmatite à tourmaline noire, avec cryptes hétérogènes (tourmalines noire, rose, verte, béryl, spessartite, lépidolite et muscovite, pétalite, pollux, etc.).	Chaïtanka (Oural). Véritables filons avec cryptes (rubellite dominante, lépidolite).

			Type	Minéraux et structure caractéristiques.	Autres gisements caractéristiques.
B Pegmatites à muscovite (peu ou pas de tourmalines).	Minéraux lithiques localisés.	*a* Lépidolite abondante.	α) Type *Californie.*	Filons à structure rubanée, symétriques ou non, avec association régulière d'aplite et de pegmatite, grandes cryptes dans zones riches en lépidolite (tourmalines polychromes, béryl césifère, triphane). *Par sa richesse en tourmaline noire, il passe au type Maharitra.*	
			β) Type *Maine.*	Pas de structure rubanée ; les zones lithiques sont parfois entourées d'une bordure grenatifère. Beaucoup de phosphates (amblygonite, triphylite...) associés à lépidolite. Cryptes avec tourmalines, béryl césifère, apatite, herdérite.	
			γ) Type *Rožná.*	Zones lithiques (lépidolite et rubellite) bordant filon de pegmatite. Pas de cryptes.	
		b Peu ou pas de lépidolite.	Type *Chesterfield.*	Filons à disposition symétrique, riches en muscovite sur les bords ; quartz au centre, zone lithique intermédiaire, abondance de triphane et de tourmalines. Pas de cryptes.	
	Minéraux lithiques non localisés.	Pas de lépidolite.	Type *Orvault.*	Petite quantité de tourmalines lithiques disséminées dans pegmatite potassique.	

II. — *Pegmatites sans tourmalines lithiques.*

		Type	Minéraux et structure caractéristiques.	Autres gisements caractéristiques.
Pegmatites à muscovite.	*a* à triphane.	α) Type *Killiney.*	Triphane, muscovite et peu de tourmaline noire.	Ratschinges
		β) Type *Branchville.*	Triphane, béryl, beaucoup de phosphates ferrifères et manganésifères, muscovite.	
	b à lépidolite.	Type *Limousin* (zone lithique localisée).	Lépidolite écailleuse, topaze, albite, cassitérite, tantalite. Bordure de filons de pegmatite à muscovite; parfois structure rubanée.	
	c à amblygonite.	α) Type *Dakota.*	Beaucoup de *triphane*, d'amblygonite, muscovite, cassitérite (strüvérite, columbite-tantalite, béryl). Structure concentrique.	
		β) Type *Montebras.*	Amblygonite et cassitérite. Passe à des filons quartzeux stannifères.	

B. — *Pegmatites à orthose.*

a. — Pegmatites à microperthite fusiforme.

Il existe à Madagascar des pegmatites dont le feldspath est constitué, non par du microcline ou par de l'orthose homogène, mais par une microperthite de composition singulière. Au milieu de l'orthose, sont distribués, en proportion presque égale, de longs fuseaux allongés, feldspathiques, assez irréguliers de forme, orientés à peu près parallèlement à l'arête pg^1. Leur réfringence est plus grande que celle de l'orthose. J'ai décrit jadis dans les roches de l'Inde cette même structure et j'avais pris alors ces fuseaux pour du quartz.

J'ai pu extraire d'une pegmatite de la Sakave un échantillon dont l'analyse est ci-jointe (M. Raoult), elle doit remplacer celle que j'ai donnée page 558 du tome I, faite par Pisani, et qui n'est point exacte en ce qui concerne l'alumine.

	34 bis
SiO^2	65,52
Al^2O^3	19,07
Fe^2O^3	0,51
FeO	0,17
Na^2O	4,79
K^2O	7,74
CaO	1,88
H^2O	0,22
	99,90

La densité est de 2,595.

Cette composition correspond à 45,59 pour 100 d'orthose et 49,80 pour 100 d'un plagioclase renfermant 19 pour 100 d'anorthite, avec 4,2 pour 100 de silice libre. Les propriétés optiques (mesure de la différence d'extinction entre l'orthose et le plagioclase qui ne présente pas de macles) confirment cette estimation.

L'analyse de l'aplite donnée plus loin montre que la composition du plagioclase entrant dans la constitution de ces microperthites est variable.

Je ne connais pas beaucoup de gisements de pegmatites renfermant ce feldspath, pegmatites dont l'élément coloré est la biotite, mais je ne pense pas qu'il faille insister sur cette rareté. Les pegmatites de ce genre, en effet, ne contenant pas de minéraux utilisables n'ont pas attiré l'attention et les échantillons que j'en ai eus ont été recueillis accidentellement.

Aplites. — Les pegmatites à microperthite fusiforme sont accompagnées d'aplites de même composition qui existent aussi en filons indépendants ; tel est le cas réalisé à Andampy, dans le Nord-Ouest de l'Ile.

C'est une roche à grain fin, à structure granulitique, uniquement constituée par du quartz, des grains de microperthite fusiforme et d'un peu de biotite et de grenat.

L'*analyse* **35** (M. Raoult) donne sa composition. Le feldspath triclinique entrant dans la microperthite est une albite à 3 pour 100 d'anorthite. La formule magmatique est 1.4.1.3'.

	35
SiO^2	73,56
Al^2O^3	13,42
Fe^2O^3	0,29
FeO	0,64
MgO	0,44
CaO	1,78
Na^2O	4,64
K^2O	4,89
TiO^2	tr.
P^2O^5	tr.
H^2O+	0,43
	100,09

b. — Pegmatites à diopside.

Mon attention a été appelée, il y a quelques années, sur les pegmatites d'Itrongay par les beaux cristaux ou fragments de cristaux transparents d'orthose ferrifère, d'un beau jaune d'or, et de diopside recueillis à la surface du sol ou engagés dans un tuf calcaire recouvrant tous les schistes cristallins du voisinage.

Sur ma demande, M. Giraud et M. Perrier de la Bathie ont bien voulu chercher le gisement de ce feldspath et m'ont envoyé, avec leur récolte, les renseignements suivants.

Au village même d'Itrongay, il existe deux filons de pegmatite. L'un (0^m,60 de puissance) est situé à l'Ouest de la case de passage ; il est encaissé d'un côté par une pyroxénite à scapolite et de l'autre par une aplite. Le feldspath, groupé graphiquement avec le quartz, offre de grands clivages brillants ; c'est de l'orthose d'un blanc jaunâtre, seulement translucide, ou jaune d'or et transparente. Je rappellerai que les propriétés optiques de cette orthose ferrifère sont celles qui caractérisent la sanidine (2V très petit), bien qu'il ne soit pas douteux que cette roche se soit formée à basse température. Le quartz est souvent enfumé ; du diopside vert, transparent, l'accompagne, ainsi que de grands cristaux bruns ou verts

de sphène ; il existe en outre de l'apatite verte également transparente. C'est le premier exemple connu de moi [64] d'une pegmatite dont tous les minéraux sont hyalins et peuvent être considérés comme des gemmes.

Le second filon, situé à l'Ouest de la case de passage, est intercalé entre une aplite et un cipolin ; il est plus quartzeux que le précédent ; son feldspath est de l'orthose rosée, accompagnée de magnétite titanifère, de sphène et surtout de zircon jaune, en gros cristaux (m, $b^{1/2}$) translucides, fendillés et fragiles qui atteignent 6 centimètres suivant l'axe vertical ; dans d'autres échantillons, ils sont irréguliers de forme, d'une couleur variant du vert foncé au brun et groupés graphiquement avec le quartz, ils jouent alors, par rapport à celui-ci, le même rôle que le quartz vis-à-vis du feldspath dans la pegmatite graphique. Il n'est donc pas douteux que les cristaux énormes dont les fragments se rencontrent dans les éluvions du voisinage ne proviennent de cette roche ; on a vu, à la page 235 du tome I, que ce zircon possède une faible densité et une faible biréfringence. Il est vraisemblable que les fragments transparents de kornerupine et de saphirine qui les accompagnent proviennent des mêmes pegmatites, mais je n'ai pas vu ces minéraux attachés à une gangue.

Dans cette pegmatite, le feldspath est rubéfié, l'apatite forme des cristaux de plusieurs centimètres, mais ils sont fissurés et opaques ; enfin, il existe du diopside mais, lui aussi, manque de transparence. Il faut donc considérer la roche de ce second filon de pegmatite comme identique à la précédente, et comme en constituant une forme en voie d'altération.

Dans le chapitre consacré aux *Altérations des roches silicatées,* je décrirai les curieux phénomènes d'imprégnation de la pegmatite à orthose transparente par de l'opale, de la calcédoine et du quartz. Je n'ai pas vu d'échantillon qui soit complètement dépourvu de ces produits d'altération, aussi ne m'a-t-il pas été possible de faire analyser cette pegmatite, mais, étant donné sa composition minéralogique et la composition chimique de son feldspath qui renferme de 15,81 à 14,32 de potasse, avec seulement de 0,34 à 1,84 de soude, il est vraisemblable que la formule magmatique est voisine de 1.4.1.1.

On a vu dans la description de l'orthose jaune qu'un autre gisement existe peut-être dans la région d'Ambalavao (mont Ipaka), mais je n'ai pu avoir de précision à cet égard.

c. — **Pegmatites à zircon.**

Les énormes cristaux de zircon du mont Ampanobe, sur la rive droite de la Mananantanana (Cf. tome I, page 236), m'ayant paru provenir d'une pegmatite,

j'ai demandé à M. Perrier de la Bathie de vouloir bien aller voir ces cristaux en place. La montagne est formée par des gneiss, associés à des calcaires cristallins, à des grenatites, à des pyroxénites, traversés au sommet de la montagne par des filons nombreux de pegmatite, ayant de 60 à 80 centimètres de puissance. Ce sont bien eux qui renferment les cristaux de zircon, supportant parfois de petits cristaux de fluorine violette, mais les feldspaths de cette roche sont entièrement transformés en calcédoine ; il a été impossible de recueillir un échantillon intact ; toutefois, M. Perrier de la Bathie m'a envoyé une dissogénite, assez fraîche, contenant un peu de diopside et de nombreux petits octaèdres de zircon brun. L'existence de cette roche d'une part, l'association du zircon au diopside à Itrongay d'une autre, me font penser que la roche mère des gros cristaux de zircon est une pegmatite analogue à celle des gisements de l'Extrême-Sud. Contre cette hypothèse, on pourrait, il est vrai, objecter l'existence de cristaux de tourmaline noire, de priorite, de betafite et de columbite, qui m'ont été donnés comme ayant été recueillis dans les éluvions de la même région, or, ces minéraux sont caractéristiques d'un tout autre type de pegmatite, mais il n'y aucune impossibilité à ce que le mont Ampanobe renferme des pegmatites de types différents.

III. — PEGMATITES CALCO-ALCALINES

Les pegmatites dont il s'agit ici sont caractérisées par l'association d'un plagioclase (oligoclase à andésine) à un feldspath potassique qui, assez rarement, est du microcline et plus souvent de l'orthose en microperthite fusiforme. Les éléments colorés sont de la biotite, des pyroxènes et des amphiboles calco-magnésiens ; il n'existe ni tourmaline ni muscovite ni aucun des minéraux intéressants décrits dans les paragraphes précédents.

Dans quelques-uns des gisements qui vont être signalés, ces pegmatites constituent de véritables filons, mais dans le plus grand nombre des gisements que j'ai étudiés, elles sont intercalées au milieu de gneiss sous forme de lits parallèles, d'amandes, de lentilles ; leur association aux gneiss est constante ; elles font corps avec eux et, souvent on a l'impression qu'elles ne peuvent pas en être séparées ; ce sont des sortes de gneiss pegmatiques et peut-être serait-il plus logique de les décrire dans le chapitre consacré aux gneiss, si leur analogie minéralogique avec des types filoniens n'était d'autre part bien nette. Comme dans la plupart des cas on ne distingue aucune relation immédiate entre ces pegmatites et des intrusions

granitiques, je suis conduit à admettre pour leur genèse une hypothèse formulée par M. Daly[1]. Dans ces régions de métamorphisme régional intense, les roches profondément situées, chargées d'eau d'imbibition, ont pu se trouver portées à la température relativement basse à laquelle un mélange de quartz et de feldspath peut entrer en solution avec de l'eau mélangée à quelque gaz ; ainsi ont pu se former de petites poches remplies par de telles solutions susceptibles de s'insinuer dans les roches solides du voisinage, puis de recristalliser, avec l'aspect d'une roche filonienne. L'origine première d'une partie au moins de semblables roches serait donc magmatique, mais sans relation immédiate avec une injection d'un magma neuf. Tout récemment, M. P.-J. Holmquist a proposé[2] une explication semblable (*regional pegmatites*) pour expliquer les lits de pegmatites intercalés dans les gneiss de Suède.

Une telle origine permet de concevoir que le quartz et le feldspath remis en mouvement aient pu être mélangés à des produits étrangers, soit originellement, soit par dissolution de ceux-ci et c'est vraisemblablement le cas qui a été réalisé par celles des pegmatites décrites plus loin qui sont riches en minéraux alumineux.

A. — *Pegmatites granitiques.*

a. — Pegmatites hololeucocrates.

Dans les gneiss de l'Androy, on rencontre en abondance des intercalations de pegmatites à microperthite fusiforme dépourvues de tout élément coloré ou ne renfermant que des traces de biotite ; elles sont caractérisées par ce que leur quartz possède une couleur verte ou bleue. Le plagioclase est un oligoclase plus ou moins calcique.

b. — Pegmatites à biotite.

Ce type est réalisé par la pegmatite associée au filon de quartz aurifère de Soavinarivo ; la biotite forme de grandes lames ; cette roche renferme de petits cristaux d'allanite, visibles à l'œil nu, et, au voisinage du filon aurifère, des mouches de pyrite et d'or natif.

1. Reginald A. Daly, *Igneous rocks and their origin*. New-York, 1914, p. 370.
2. P.-J. Holmquist, Om Pegmatitpalingenes och ptygmatisk Veckning. *Geol. För. Stockholm Föhrhandl.*, t. XLII, 1920, p. 191.

Quand ce genre de pegmatite renferme de la magnétite titanifère, ce n'est pas sous forme de cristaux nets, comme dans les pegmatites longuement décrites plus haut, mais sous celle de masses compactes pouvant peser plusieurs kilogrammes ; elles englobent pœcilitiquement des cristaux automorphes d'orthose, d'oligoclase (Antsahavony, au Nord du Manambolo, affluent de gauche de la Mahavavy du Nord ; Bandahely, vis-à-vis Ambaliha, sur la rive droite du Maivarano, etc.).

Comme exemple de pegmatite à biotite intercalée dans les gneiss, je signalerai celle des falaises de Vangaindrano ; le feldspath potassique est de l'orthose d'un blanc bleuté, localement groupé graphiquement avec le quartz ; comme le gneiss, cette roche renferme des lamelles de graphite.

c. — Pegmatites à amphibole.

Des veines de pegmatites à très grands éléments sont intercalées dans le gneiss du pied Sud-Ouest de l'Ampantaka (1 kilomètre au Nord de la croisée du chemin se détachant de la route d'Antsirabe à Tananarive et conduisant à Ambano). Cette pegmatite, dont je dois de nombreux échantillons à M. Dropsy et à M. Perrier de la Bathie, est très hétérogène. Dans les portions à grain moyen, elle est très riche en plagioclase blanchâtre (densité 2,645, oligoclase-albite), alors que dans les parties à grands éléments prédomine le microcline blanc ou rosé et une albite présentant les chatoiements bleus de la *péristérite* ; il existe aussi des perthites de microcline et d'albite dont la structure est discernable sans le secours du microscope. Les éléments colorés sont formés par de la biotite et surtout par une amphibole du groupe de la hudsonite dont les cristaux atteignent un décimètre de longueur. Il faut ajouter encore des concentrations de pyrite et aussi un peu de molybdénite.

Une pegmatite analogue se trouve à Ambatomainty dans la région d'Ambatolampy ; sur les bords de la Vohitra, au Nord-Est de Moramanga et aussi à l'Est de Benenitra.

Les grandes dimensions des éléments de la pegmatite d'Ambano rendent difficile son analyse ; j'ai cherché à faire une prise d'essai représentant sa composition moyenne à l'aide des échantillons que j'avais à ma disposition. L'*analyse* **35**^{bis} donnée ci-contre (M. Raoult), et qui correspond à la formule magmatique II, 4.(2)3.4, me paraît trop pauvre en potasse pour représenter la composition moyenne de la roche, j'estime en effet que la proportion du microcline est plus considérable que celle compatible avec ces chiffres. Le plagioclase calculé est un oligoclase à 27 pour 100 d'anorthite, teneur supérieure à la teneur exprimée, mais cette différence

entre la réalité et le calcul s'explique par l'abondance de l'amphibole qui est riche en alumine et contient une portion importante de chaux, ainsi qu'en témoigne son analyse donnée page 537 du tome I. En définitive, cette analyse, qui correspond à une granodiorite, doit être considérée comme représentant la composition des portions les plus amphiboliques et les plus plagioclasiques de la pegmatite, dont le pôle le plus potassique a certainement un caractère monzonitique et doit se rapprocher des paramètres : I(II).4.2.3.

	35 bis
SiO^2	60,52
Al^2O^3	13,04
Fe^2O^3	3,40
FeO	7,71
MnO	0,49
MgO	1,58
CaO	4,76
Na^2O	3,87
K^2O	1,54
TiO^2	1,21
P^2O^5	0,11
H^2O +	1,45
—	0,17
CO^2	0,21
	100,06

d. — Pegmatites à diallage.

Ces pegmatites ne sont pas rares en intercalations dans les gneiss ou associées aux granites à pyroxène. Suivant les gisements, c'est la microperthite fusiforme ou le plagioclase (oligoclase à andésine basique) qui domine ; ces feldspaths sont généralement colorés en gris ou en noir plus ou moins foncé par des inclusions ferrugineuses, de telle sorte que ces pegmatites, même lorsqu'elles sont essentiellement feldspathiques, sont de couleur sombre.

Le diallage, noir verdâtre ou gris vert, forme de grands cristaux allongés suivant l'axe vertical, à plans de séparation h^1 très faciles ; il peut être accompagné de hornblende (primaire ou non), de biotite, de magnétite titanifère et exceptionnellement de molybdénite.

Voici quelques gisements caractéristiques : Tananarive, carrière ouverte au pied de la falaise d'Ampamarinana ; Sud d'Ambohimaorina, à 25 kilomètres Est d'Andramasina (molybdénite) ; Anosirao (filon dans granite malgachitique); Andriambe sur le canal de Katsaoka (au Sud de Loholoka).

L'*analyse* **36** (M. Raoult) de la roche d'Ampamarinana conduit aux paramètres II, 4'.2'.'4, c'est-à-dire à ceux d'une granodiorite.

	36
SiO^2	61,32
Al^2O^3	14,78
Fe^2O^3	2,99
FeO	3,36
MgO	3,21
CaO	4,82
Na^2O	4,13
K^2O	2,99
TiO^2	0,60
P^2O^5	0,22
H^2O +	1,68
—	0,05
	100,15

e. — Pegmatites alumineuses.

Ce type de pegmatites est toujours intercalé dans les gneiss. Le feldspaths sont de l'orthose, associée à un plagioclase oscillant de l'oligoclase à l'andésine. La biotite est rare et toujours peu abondante.

α. — **Pegmatites grenatifères.** — Ces pegmatites sont très fréquentes dans l'Extrême-Sud et particulièrement dans l'Androy et aussi dans le pays Mahafaly. Elles sont associées à des leptynites dont elles ne sont peut-être que des cas particuliers à grands éléments ; le grenat rouge y est très abondant ; à l'inverse de ce qui a lieu dans les pegmatites à muscovite, où prédomine l'almandin-spessartite, il s'agit ici de l'almandin-pyrope et particulièrement de sa variété de couleur claire.

Les principaux gisements à signaler sont la vallée de l'Imaloto, puis, au Sud de l'Onilahy, les bassins des rivières Beandry, Ianapera et Savasy (région du Vohipotsy), les environs de Soamanonga ; entre Ambatomitikitsy et Betampy : rive gauche de la Sakamasay ; Sud-Est de Betampy (le plagioclase est de l'oligoclase-albite, densité 2,64). Il est fort vraisemblable qu'une partie des pegmatites à grenat du pays Mahafaly et de l'Androy, citées page 290, sont à rapporter à ce type, mais je dois laisser cette question en suspens, faute d'observations précises.

J'ai fait analyser (**37**) une pegmatite riche en grenat d'Ambatoloaka, entre Bekily et Tsianarena ; elle correspond aux paramètres 1'.'4.2.(2)3. La composition virtuelle

met en évidence 2,10 pour 100 de $MgSiO^3$, 28,9 pour 100 d'andésine à 38 pour 100 d'anorthite et 2,3 d'Al^2O^3 libre, alors que le plagioclase exprimé est un oligoclase associé à du grenat. On sait que la production du grenat aux dépens d'un magma de composition convenable est considérée comme le résultat d'une cristallisation effectuée sous une pression supérieure à celle qui caractérise la formation des pyroxènes.

	37
SiO^2	66,92
Al^2O^3	15,67
Fe^2O^3	5,35
FeO	0,81
MgO	0,86
CaO	2,62
Na^2O	2,13
K^2O	5,12
TiO^2	0,00
P^2O^5	0,34
H^2O +	0,13
—	0,15
	100,10

β. — **Pegmatites à grandidiérite.** — C'est dans un banc de pegmatite formant des amandes dans les gneiss de la falaise d'Andrahomana que j'ai découvert le minéral auquel j'ai donné le nom de *grandidiérite*[1]. Il forme de grands cristaux de 8 centimètres de longueur englobant pœcilitiquement ou graphiquement du quartz; il est accompagné de gros grains d'almandin rouge rubis, de microcline et d'oligoclase; l'examen microscopique montre en outre de petits cristaux microscopiques d'andalousite, de spinelle vert et de biotite.

La richesse en magnésie et en alumine de la grandidiérite et du grenat indique que cette roche doit renfermer un très grand excès d'alumine; les échantillons que j'en possède ne sont pas assez nombreux pour qu'il m'ait paru possible d'en faire une analyse avec chance d'obtenir une composition moyenne.

B. — *Pegmatites et aplites dioritiques.*

A. — **Pegmatites.** — Je ne connais ces roches que sous une forme hololeucocrate; ce sont donc des *oligoclasites quartziques*; il s'agit de filons, à assez gros grain, d'une roche légèrement rosée, traversant la pyroxénite de Volonandrongo.

1. Si la kornerupine et la saphirine proviennent bien des pegmatites à orthose auxquelles je les attribue; ces pegmatites seront à classer ici.

L'olgoclase à 15 pour 100 d'anorthite forme de grandes plages, qui englobent une partie du quartz. Il existe une très petite quantité d'orthose, quelques grains de sphène et des paillettes de damourite.

J'ai rencontré, au pied de la falaise d'Ampamarinana, à Tananarive, une roche analogue, dans laquelle le feldspath est lui-même gris ou rosé; elle constitue non plus des filons, mais des lits au milieu des gneiss; l'examen microscopique y montre des déformations structurales dues à des actions mécaniques.

Les *analyses* suivantes : **38**) Volonandrongo, 1.3'.2.4(5), et **39**) Ampamarinana, 1.3(4).2.4 (M. Raoult), doivent être comparées à l'analyse, *a*) de l'*alsbachite* (F. Kutscher, *in* C. Chelius, *Notizbl. Ver. für Erdkunde*, Darmstadt, t. XIII, 1892, p. 8), roche aplitique à grain très fin, qui, dans une pâte quartzeuse et plagioclasique déformée par actions cataclastiques, renferme de petits phénocristaux de quartz et d'orthose. L'alsbachite forme des filons dans le granite du Melibocus (Odenwald).

	38	39		*a*
SiO^2.	75,78	74,58		74,13
Al^2O^3.	14,51	13,35		12,61
Fe^2O^3.	1,06	1,72		2,87
FeO.	0,42	0,51		0,86
MgO.	0,28	»		0,23
CaO.	1,56	2,92		1,60
Na^2O.	4,66	5,44		4,55
K^2O.	1,31	1,15		2,13
TiO^2.	»	0,06	MnO	0,16
P^2O^5.	0,07	0,12		»
H^2O +.	0,08	0,26		0,66
—.	0,16	»		
	99,89	100,11		99,80
An %.	15	16		16

B. — **Aplites oligoclasiques.** — Il existe des aplites dont la composition correspond à celle des pegmatites qui viennent d'être décrites; tel est le cas de la roche blanche, à grain fin, renfermant quelques phénocristaux de grenat jaune orangé, tacheté de vert par un peu d'amphibole, que j'ai observée en veines dans les amphibolites feldspathiques d'Ankitokazo; l'examen microscopique montre que le feldspath unique est de l'oligoclase-albite associé à du quartz, avec un peu de zoïsite, de rutile et de sphène. Le grenat est enveloppé pœcilitiquement par une hornblende d'un vert bleuâtre, suivant n_g.

Une roche semblable, très dure, à cassure saccharoïde, forme un filon dans la serpentine d'Ampangabe, sur la Jabo; elle ne contient que de l'oligoclase et du quartz.

IV. — DISSOGÉNITES.

Au cours de mes recherches sur les schistes cristallins et les contacts granitiques, poursuivis depuis 1889, j'ai rencontré dans les régions les plus diverses : en France (Bretagne[1], Massif Central[2], Pyrénées[3]), aux États-Unis (bords du Saint-Laurent), à Madagascar, etc., mais dans des conditions géologiques comparables, des roches présentant des analogies de composition frappantes, accompagnées de dissemblances, qui, avec les idées courantes sur la systématique lithologique, conduiraient à les ranger dans des familles distinctes, alors qu'il y a un intérêt manifeste à ne pas les séparer.

Les conditions de gisement consistent en ce que ces roches constituent des filons, en liaison avec des massifs granitiques, et que, d'autre part, ces filons se rencontrent toujours, soit dans des sédiments calcaires métamorphisés, soit dans les calcaires cristallins ou dans des roches silicatées : amphibolites, pyroxénites, grenatites, gneiss à scapolite, etc., dérivant de ces calcaires.

Les analogies de composition minéralogique résident dans l'association à des éléments blancs prédominants d'un diopside ferrugineux, en cristaux allongés suivant l'axe vertical, et généralement associés à du sphène brun. Aux affleurements, ce diopside se décompose, laissant sa place occupée en partie par une poussière jaune de limonite. Les différences tiennent à la nature des éléments blancs ; le quartz est quelquefois abondant, plus souvent, il n'existe qu'en petite quantité et il n'est pas rare qu'il manque complètement. Les feldspaths sont généralement complexes ; le microcline abonde et même parfois existe seul ; il est d'ordinaire accompagné par un plagioclase, oscillant entre de l'albite presque pure et l'andésine. Les relations mutuelles des deux feldspaths varient, elles aussi ; il existe des types à peine plagioclasiques et d'autres très riches en plagioclases. A ces minéraux, s'ajoutent parfois du *grenat grossulaire*, de la *wollastonite*, de la *scapolite*. J'estime que ces minéraux calciques, de même que le diopside, sont le résultat d'une action endomorphe de la paroi calcaire encaissant les filons. Dans ma discussion des contacts des Pyrénées et aussi dans mes recherches sur les roches du Vésuve[4], j'ai comparé, au point de vue génétique, les roches de ces filons avec

1. Bords de la Loire, *Bull. Soc. franç. minér.*, t. X, 1889, p. 120.
2. Duerne (Rhône, Saint-Clément, Puy-de-Dôme).
3. *Bull. Carte géol. France*, n° 64, 1898, p. 10, et n° 71, 1900, p. 11.
4. Etude minéralogique des produits silicatés de l'éruption du Vésuve (avril 1906). (Conséquences à en tirer à un point de vue général). *Nouvelles Arch. Muséum*, t. IX, 1907, p. 101.

certaines des sanidinites de la Somma que j'appelle pneumatogènes et qui remplissent les cavités des blocs de calcaires métamorphisés et renferment des minéraux calciques ; grenat grossulaire, idocrase, wollastonite, etc., associés à des minéraux alcalins : orthose, leucite, néphéline dont l'origine magmatique n'est pas douteuse.

Suivant la teneur en quartz, suivant la nature des feldspaths, dans les nomenclatures lithologiques habituelles, il faudrait distribuer ces roches entre les granites, les syénites, les monzonites, quartzifères ou non ; il me paraît préférable de les réunir sous une désignation univoque et je propose le terme de *dissogénite*, indiquant (δίσσός différent ; γεννάω) la diversité d'origine que j'attribue à leurs éléments. Elles seront qualifiées en outre de granitiques, syénitiques ou monzonitiques suivant leur composition.

Voici maintenant quelques détails sur les variétés que j'ai observées à Madagascar

Dissogénites alcalines (*syénitiques*). — A Soavinarivo, j'ai rencontré un type à grain fin, dans lequel le pyroxène tache de vert les éléments blancs (microcline et albite, avec myrmékite) ; il existe un peu de magnétite, de sphène et de quartz. Le diopside est vert d'herbe en lames minces et un peu polychroïque. L'analyse **39**[a] montre l'absence de véritables plagioclases. C'est le type le plus alcalin que je connaisse dans cette série. A Amparafaratany et à Samiresy, au voisinage des pegmatites à samiresite, se trouve une roche très analogue ; elle présente le seul exemple d'épigénie partielle de microcline en albite que je connaisse dans les dissogénites ; à signaler encore les gisements de phlogopite de la région de Fort-Dauphin.

Dissogénites calco-alcalines. — La plupart des dissogénites renferment des plagioclases : elles sont quartzifères ou non. J'ai décrit jadis dans les contacts granitiques du Roc Blanc (Ariège), de nombreuses variétés de ces roches, généralement pauvres en pyroxène. A Madagascar, de bons exemples des types seulement quartzifères se rencontrent dans l'Extrême-Sud, entre Bekitro et Belindo ; le microcline présente une microperthite fusiforme. Plus nombreuses sont les variétés très quartzifères ou même quartziques ; je citerai comme exemple, les sources de l'Androranga (beaucoup d'apatite, pyroxène ouralitisé) la carrière d'Ambatonakanga à Tananarive (roche à gros grain, riche en plagioclases) ; le mont Ampanobe, près de la Mananantanana (microperthite fusiforme et très grande abondance de cristaux de zircon brun ; c'est la roche dont il est question page 366).

La dissogénite d'Antetezambato, dans la région de Mahanoro, renferme des cristaux blancs de wollastonite fibreuse de plusieurs centimètres de longueur ; ils sont surtout abondants dans des veines très quartzeuses ; j'ai rencontré au Roc-Blanc (Ariège) une variété analogue dont l'analyse est donnée en A et qui renferme

aussi de la wollastonite, mais en cristaux plus petits et uniformément distribués. C'est encore une variété très quartzique qui renferme en abondance de la scapolite à Ambohijanahary, au Nord d'Amparafaravola (Nord-Ouest du lac Alaotra) ; le pyroxène est partiellement transformé en hornblende.

Enfin, un terme extrême, très riche en plagioclase (andésine), se trouve sur le versant du mont Andohaela qui regarde Ampisopiso (Androy) : il contient beaucoup d'apatite, de sphène polychroïque et d'andésine constituant avec des feldspaths potassiques, une *antiperthite* dans laquelle l'orthose (ou le microcline) rappelle par sa forme l'albite de la microperthite fusiforme. Cette roche ne renferme que peu de quartz.

En terminant, il me reste à signaler une roche magnifique que j'ai brièvement décrite jadis [134] sous le nom de syénite à pyroxène. Elle m'avait été communiquée par M. Mouneyres, avec, comme indication de gisement, 4 kilomètres au Sud-Ouest de Sabotsy, à l'Ouest de Fianarantsoa.

Sur un fond rosé de microcline, tacheté de vert par du diopside et de la hornblende, de noir par quelques lamelles de biotite, se détachent des cristaux porphyroïdes d'orthose violacée, allongés de telle sorte que leurs faces g^1 d'aplatissement sont grossièrement parallèles entre elles. Sur une cassure perpendiculaire au rubanement, les clivages de ce feldspath, toujours maclé suivant la loi de Carlsbad, mesurent 4 centimètres $\times$ $0^{cm},5$. La couleur insolite de cette orthose est due à des ponctuations de magnétite, non orientées, mais disparaissant sur les bords des cristaux ; de loin en loin, un grain de magnétite, plus gros, est entouré d'une auréole limpide dépourvue de produits ferrugineux. Des veinules d'albite traversent le feldspath potassique et elles sont dépourvues d'inclusions. La cristallisation du microcline et des éléments colorés, auxquels il faut joindre de la magnétite titanifère, a été en grande partie simultanée ; par places cependant, ces minéraux moulent le microcline. Il faut ajouter qu'un peu d'albite et de quartz sont postérieurs au microcline (*analyse* **39**^{c}).

Toutes les roches qui viennent d'être décrites constituent des filons ; je signalerai un certain nombre de localités dans lesquelles une variété à gros éléments se trouve en masses discontinues au milieu des calcaires ; on y trouve généralement de fort beaux cristaux de sphène brun (fig. 483 à 485, page 585 du tome I) : rive gauche de la Sakaginadra, à 800 mètres d'Ampanihy ; rivière Sakatovo (avec graphite), Sud de Bekily sur la Manakampy ; abords de Belamboany près Zazafotsy.

Enfin, il me reste à signaler un dernier cas, dans lequel une dissogénite constitue, non plus des filons, mais des bancs irréguliers au milieu des gneiss et il

faut sans doute attribuer à sa formation un mécanisme comparable à celui décrit page 367. Le gisement dont il s'agit se trouve à 6 kilomètres Sud-Est de Tananarive, près d'Alasora. Sur le côté gauche de la route, on voit affleurer et presque vis-à-vis d'une église, une roche d'un très joli vert et rose, à structure rubanée, traversée par des veines irrégulières de quelques centimètres d'épaisseur d'une roche à plus gros éléments dans laquelle se trouvent des plages d'oligoclase, pierre de soleil, atteignant 1 à 2 centimètres de diamètre : leur couleur rose et leurs reflets dorés contrastent harmonieusement avec la couleur grise du microcline et du quartz et le vert d'herbe du diopside. Cette dissogénite rubanée renferme très peu de quartz et de sphène : on y remarque de la myrmékite (*analyse* **39**^{b}).

Je donne dans le tableau suivant les analyses[1] de la *dissogénite alcaline* **39**^{a}) de Soavinarivo, II.5.1.3 ; A) de la *dissogénite à wollastonite* du Roc-Blanc (Ariège), I(II).'5.1'.2(3) ; des *dissogénites calco-alcalines*, **39**^{c}), Alasora, II.4(5).'2.2 ; **39**^{d}) Sabotsy, II.5.2.(2)(3).

	39^a	A	39^b	39^c
SiO^2	60,64	64,70	62,86	58,84
Al^2O^3	12,95	15,78	12,52	15,92
Fe^2O^3	3,72	1,39	1,58	2,76
FeO	2,57	0,68	1,41	1,63
MgO	1,58	0,46	4,04	4,50
CaO	6,76	4,36	8,10	5,50
Na^2O	4,00	3,34	1,79	2,85
K^2O	6,46	8,38	6,83	7,11
TiO^2	1,21	tr.	0,09	0,60
P^2O^5	0,23	0,14	0,09	0,31
H^2O +	0,12	0,63	0,72	0,23
—	»	0,21	»	0,10
	100,24	100,07	100,03	100,35
An °/₀	»	11	28	28

Dans une étude consacrée aux roches éruptives de Sviatoy Noss en Transbaïkalie, M. Pentti Eskola a décrit[2] sous le nom de diopside-pegmatite une roche pauvre en quartz, constituée par de l'oligoclase, du microcline, du diopside (baikalite), du sphène, de l'apatite et de l'orthite ; elle est certainement identique à celles qui sont décrites dans ce paragraphe. L'auteur lui attribue d'ailleurs la même origine endomorphe, il la cite comme un exemple d'assimilation de calcaire par le magma granitique. Il est intéressant de faire remarquer que, comme certaines dissogénites du pays Mahafaly, cette roche renferme du graphite.

1. Par suite d'une erreur de numérotage, les analyses de ce chapitre ont dû être numérotées **39**^{a}, **39**^{b},...
2. On the igneous rocks of Sviatoy Noss in Transbaikalia. *Finska Vetensk. Soc. Förhandl.*, t. LXIII, 1920-1921, Afd. A., n° 1, p. 37.

CHAPITRE III

SYÉNITES ET SYÉNITES NÉPHÉLINIQUES

I. — SYÉNITES ALCALINES ET SYÉNITES NÉPHÉLINIQUES

A. — *Série potassique.*

a. — Syénites.

La région qui avoisine Ambatofinandrahana, entre la Mania et la Matsiatra, et particulièrement les bassins de deux affluents de gauche de la Mania, l'Imorona et l'Itsindra, renferment un grand nombre de types lithologiques syénitiques alcalins, fort intéressants par la grande richesse en potasse de beaucoup d'entre eux, associés d'ailleurs à quelques types sodiques : ils oscillent entre des types quartzifères, et d'autres, néphéliniques ; les uns et les autres ont comme feldspath exclusif ou dominant le microcline à structure quadrillée.

Ces roches forment de petits massifs ou des filons ; leur structure a presque toujours été affectée par des actions mécaniques dont la trace n'est souvent visible qu'au microscope ; dans bien des cas, elles ont été suivies de recristallisations qui masquent la structure originelle et cette région est sans doute l'une de celles de Madagascar, où il sera le plus intéressant d'étudier les transformations de roches éruptives en schistes cristallins, quand les études de détail y seront possibles. Aujourd'hui encore cette région n'est pas d'un abord facile.

Comme les roches éruptives dont il s'agit et que j'ai brièvement décrites il y a peu de temps [157], paraissant très localisées à Madagascar, je n'attendrai pas le chapitre des schistes cristallins ni celui des déformations des roches[1] pour en faire l'étude.

1. Au moment du tirage de cette feuille, je reçois des syénites de ce groupe provenant du Mont Andringitra ; elles seront décrites dans l'*Appendice* du tome III.

α. — **Syénites.** — 1° Types a amphiboles et pyroxènes sodiques. — *Syénites à torendrikite.* — A l'Est du village d'Ambatofinandrahana, dans le marigot, tout près du pont, s'observe une syénite à grain fin, blanche, tachetée de petits points d'un noir bleuâtre, dont le feldspath principal est le microcline quadrillé, accompagné d'albite. Ces minéraux sont associés à cette amphibole bleue, à la fois sodique, ferrifère et magnésienne, que j'ai appelée torendrikite et à de la biotite : ces deux minéraux sont assez abondants, ils moulent en partie les feldspaths et sont accompagnés de grains de sphène et d'augite aegyrinique. La structure est finement grenue, avec passage à la structure granoblastique, qui est plus ou moins accentuée suivant les points considérés.

Dans la même région, à Ambatoarina (Est d'Ambatofangehana), les calcaires cristallins à imerinite renferment des veinules d'une roche blanche, sur laquelle se détachent des cristaux rosés de feldspath. L'examen microscopique montre que ceux-ci consistent en orthose (macle de Carlsbad) encadrée d'albite ou en albite. Ils sont englobés dans un mélange granoblastique de microcline, d'albite et de calcite, avec quelques baguettes d'imerinite ; peut-être est-ce là une syénite alcaline déformée par actions mécaniques, suivies de recristallisation.

L'*analyse* **39**^{e} a été faite sur la syénite d'Ambatofinandrahana (M. Raoult) 11.5.1.3 ; cette composition se rapproche de celle de certaines *umptekites* : *a*) Beverley (Essex Co, Mass.) (F.-E. Wright, *Tschermak's Min. Petr. Mit.*, t. XIX, 1900, p. 318), 11.5.1.3 ; *b*) Melfi (Haut Chari) (Pisani, *in* Gentil et Freydenberg, *C. Rendus*, t. CXLVI, 1908, p. 354), 1(11).5.1(2).3' ; *c*) Ile Corail, Archipel de Los (Lasieur, *in* Lacroix, *Nouv. Arch. Mus.*, t. III, 1911, p. 68), 11.5'.1.3.

	39^e	*a*	*b*	*c*
SiO^2	60,98	62,99	61,60	61,80
Al^2O^3	13,67	14,25	17,11	16,36
Fe^2O^3	3,35	2,78	3,09	3,44
FeO	2,03	5,15	0,54	0,48
MgO	3,21	1,30	1,04	0,58
CaO	3,84	2,72	3,25	2,30
Na^2O	4,92	4,86	5,35	6,70
K^2O	5,65	6,35	6,11	7,04
TiO^2	1,03	0,16	0,79	0,57
P^2O^5	0,34	»	0,06	n. d.
H^2O +	0,21	0,18	0,63	0,94
—	0,18			
	100,11[1]	100,92[2]	99,57	100,21

Finandranites. — La syénite d'Ambatofinandrahana qui vient d'être décrite est

1. Y compris CO^2 0,39 ; Cl 0,31.
2. Y compris MnO 0,18.

traversée par un filon d'une syénite à grands éléments, constituée par du microcline (rose et gris) quadrillé (macle de Carlsbad), englobant des baguettes noires de torendrikite. La roche est leucocrate, mais, par places, la torendrikite y forme des traînées parfois drusiques, avec des cristaux mal formés de 1 centimètre de longueur. Sur les bords du filon, il existe des accumulations de torendrikite fibrolamellaire presque pure ; elles m'ont servi à faire l'étude chimique de cette amphibole (Tome I, page 541).

Quelques échantillons ont un grain inégal, chacun des cristaux de microcline, gris de fumée, est encerclé par une zone blanche granoblastique de feldspath recristallisé dans laquelle domine l'albite. Il existe quelques lames d'ilménite, un peu de biotite et d'apatite.

Je crois devoir désigner cette roche sous un nom nouveau ; elle constitue, en effet, la syénite la plus potassique connue (*analyse* **39**^{f}). Dans les tables de Washington, on ne trouve qu'une roche, une pegmatite, représentée par les symboles 1.5.1.2 qui est celui de la *finandranite* [1].

Pseudo-aplites de finandranite. — Cette composition chimique est du reste réalisée dans toute une série de roches se trouvant dans la région de Bedihy (à 5 ou 6 kilomètres au Sud de l'Itsindra), dans la vallée de l'Antanimbarimpianina, affluent de l'Imorona. Les quartzites et les calcaires cristallins, redressés verticalement et orientés Nord-Sud, renferment plusieurs intercalations de roches feldspathiques, ayant de 5 à 10 mètres d'épaisseur et pouvant être suivis pendant plusieurs kilomètres, d'après les observations de M. Perrier de la Bathie qui a bien voulu explorer cette région sur ma demande [2].

Ces roches sont finement grenues, les unes rubanées, blanches ou roses, ont l'aspect de leptynites, les autres, bleuâtres ou d'un gris verdâtre, ont un facies pseudo-porphyrique. L'examen microscopique fait voir que toutes ont la même origine ; ce sont des roches éruptives écrasées, en voie de recristallisation granoblastique. Les phénocristaux ne sont qu'une apparence ; ils constituent, en réalité, des débris de grandes plages de microcline quadrillé, dernier reste de la roche originelle, ou bien sont le résultat de la recristallisation, en grains plus gros que le reste de la roche, de fragments triturés des mêmes minéraux.

Le microcline recristallise sous la forme quadrillée ; il est associé en proportions très variables à divers minéraux : torendrikite aciculaire [Amparibe (*analyse* **39**^{i})], ou

1. Nom tiré de l'une des racines du mot Ambatofinandrahana (*any vato*, à la pierre, *finandrahana*, qui a été taillée au ciseau).

2. L'origine de mes recherches sur les roches de cette région est l'échantillon dont l'analyse est donnée en **39**^{i}. M. Perrier de la Bathie l'avait recueilli, avant la guerre, à Amparibe. En raison de sa nature qui, alors, m'avait paru énigmatique, j'avais prié mon inlassable correspondant de retourner dans cette région ; c'est ce voyage qui a fourni presque toutes les roches étudiées dans ce chapitre.

bien amphibole d'un bleu verdâtre, moins dispersive et moins biréfringente que la torendrikite (*analyse* **39[g]**) ; ces amphiboles sont associées à de l'aegyrine, à de l'augite aegyrinique (*analyse* **39[h]**) et à de la biotite. Il existe aussi des types dans lesquels la biotite, ou un pyroxène vert clair existent seuls à l'exclusion d'amphiboles. De nombreux minéraux accessoires : apatite, sphène, albite, muscovite, grenat, se rencontrent çà et là : la proportion de quartz n'est pas toujours négligeable (Amparibe).

Que ces roches soient le résultat de la transformation d'une syénite analogue à la finandranite, cela n'est pas douteux. Un échantillon en effet a été rencontré qui renferme des lambeaux continus de la roche originelle, grandes plages de microcline enveloppant des cristaux d'albite (avec grains d'épidote), des lames de biotite, de sphène et d'amphibole vert bleuâtre avec un peu de torendrikite. Certaines portions de la roche ont pris la structure granoblastique à grands éléments avec nombreuses plages de mirmékite.

Je donne ci-contre l'analyse de ces différentes roches : **39[f]**) *Finandranite* d'Ambatofinandrahana. I.5.I.2 ; **39[g]**) roche à grain fin, 2 kilomètres Sud de Bedihy, avec amphibole bleu clair, I(II).4'.I(2).2 ; **39[h]**) *Ibid.* à pyroxène, I(II).5. I(2).2 ; **39[i]**) *Ibid.* Amparibe (roche bleue riche en torendrikite aciculaire), II.(4)5.I.2(3) (**39[e]** à **39[h]** par M. Raoult, **39[i]** par Pisani).

	39[f]	39[g]	39[h]	39[i]
SiO^2	62,68	64,98	61,72	62,30
Al^2O^3	16,71	14,48	16,02	13,00
Fe^2O^3	2,64	2,62	3,22	4,62
FeO	0,98	1,59	0,98	1,20
MgO	0,51	1,54	1,51	2,22
CaO	1,22	2,78	4,38	3,70
Na^2O	2,86	2,19	2,04	3,07
K^2O	11,21	8,11	9,59	8,05
TiO^2	tr.	0,19	0,07	0,58
P^2O^5	0,44	0,61	0,25	0,10
H^2O +	0,59	0,78	0,41	1,30
—	99,84	99,87	100,19	100,53[1]

L'interprétation de ces données conduit à une observation d'ordre général.

La présence de métasilicates sodiques dans une roche est d'ordinaire attachée à l'idée de richesse en soude. La discussion de ces analyses montre que cette notion n'est pas nécessairement exacte ; pour que des silicates sodiques puissent se produire dans une roche éruptive, il est nécessaire et suffisant que son magma

1. Y compris ZrO^2 0,39.

renferme de la soude à l'état non feldspathisable. Ce résultat est obtenu, même avec une petite quantité de soude, si le nombre des molécules de potasse s'approche de celui des molécules d'alumine. Dans ces conditions, la soude ne pouvant être entièrement feldspathisée, entre dans la constitution d'éléments colorés. Il résulte de cette remarque la conclusion que, même dans les roches alcalines, la nature du feldspath est une caractéristique plus essentielle que celle des minéraux ferrugineux. Une classification des roches de ce groupe qui serait basée sur la nature des éléments colorés, romprait les analogies qu'il importe au contraire de mettre en évidence.

β. — **Pegmatites et aplites syénitiques à minéraux cériques.** — Je rapporte au même groupe, à cause de leur composition et de leurs conditions de gisement, des pegmatites qui constituent l'un des traits les plus remarquables de la minéralogie de Madagascar. Malheureusement tous les gisements connus se trouvent dans une portion de la vallée de l'Imorona[1] profondément latéritisée : Ambondrona, à l'Ouest d'Itorendrika ; entre Itorendrika et Ifasina ; Ambahy, puis entre Ambohimahatahotra et Marovoalavo.

Dans la terre rouge, se voient, isolés, des masses ou de gros cristaux (atteignant plusieurs centimètres) d'aegyrine, de torendrikite[2] fibrolamellaire, de biotite, de bastnaésite, de tscheffkinite, d'hématite, de magnétite (groupée perthitiquement avec crichtonite en partie transformée en rutile), et très exceptionnellement des cristaux plus petits de monazite, de parisite ; tous ces minéraux ont été longuement décrits dans le tome I.

La bastnaésite et l'hématite paraissent exister aussi plus au Nord, sur la rive droite de la Mania, au mont Marotampona et la tscheffkinite plus au Sud dans la région d'Itremo. Les roches en question ont donc une grande extension géographique.

Des échantillons et des observations que m'a communiqués M. Perrier de la Bathie, auquel j'avais demandé d'essayer de trouver des roches intactes dans les

1. J'ai trouvé récemment des fragments roulés de bastnaésite, à clivage très facile, associés à de gros cristaux de zircon brun, à des fragments d'ilménite et de spessartite dans le produit du lavage d'alluvions d'un affluent de gauche de la Rianila, recueillis par M. Mège. Il est donc vraisemblable qu'il existe dans la forêt de l'Est un gisement de pegmatite analogue à celle qui est décrite ci-dessus. Ce fait est à rapprocher de l'existence d'un granite miarolitique à aegyrine que j'ai trouvé jadis dans les échantillons rapportés de la vallée du Mangoro, sans indication plus précise, par Catat. Ces gisements sont à découvrir.

2. Par sa richesse en magnésium et en sodium, par sa pauvreté en calcium, la torendrikite est intermédiaire entre la glaucophane et l'imerinite, toutes deux amphiboles caractéristiques des roches métamorphiques et n'existant jamais dans les roches éruptives à l'état de minéral originel, tandis que la torendrikite est un minéral de roches éruptives, se maintenant dans les roches métamorphiques formées à leurs dépens, il est intéressant de voir ce minéral magnésien et sodique associé à l'aegyrine.

déblais de recherches faites pour la récolte de la bastnaésite, il résulte que ces pegmatites se trouvent au milieu d'un granite alcalin (1 kilomètre Ouest de Itorendrika) ou de sa transformation orthogneissique (Ambahy) ou encore dans une syénite qui sera décrite plus loin (entre Ambohimahatahotra et Marovoalavo).

Il est extrêmement difficile de trouver quelque fragment de pegmatite intacte ; je n'en ai vu que deux échantillons presque exclusivement constitués par du microcline, avec un peu de biotite et les minéraux énumérés plus haut. Plus fréquents sont des échantillons dont le microcline est transformé en calcédoine qui laisse encore voir la trace des clivages du minéral originel. Enfin, partout abonde la calcédoine, cloisonnée à la façon d'une meulière, ou compacte comme un silex, et alors creusée de cavités que tapissent des surfaces concrétionnées ou botroïdales. Cette calcédoine englobe des fragments de tous les éléments non feldspathiques de la pegmatite.

Je n'ai vu que fort peu de quartz originel, aussi me semble-t-il probable que la roche intacte est une pegmatite syénitique et non pas granitique ; cette conclusion est appuyée encore par l'existence, dans les mêmes gisements et parfois dans le même filon (Ambahy), d'aplites pauvres en quartz qui sont à rapporter aux types décrits dans le paragraphe suivant.

D'Ambahy j'ai vu des blocs de tscheffkinite, dépourvus de formes cristallines, enchassant de petits morceaux de ces aplites qui ont été ainsi préservés de la décomposition. Leur examen microscopique montre qu'elles sont formées de microcline, de biotite et d'un peu de muscovite : elles enveloppent des cristaux nets de tscheffkinite, parfois groupés à axes parallèles et moulés par des cristaux de magnétite et de bastnaésite ; il existe aussi, çà et là, un peu d'aegyrine et de torendrikite. Dans d'autres échantillons, les minéraux cériques sont enveloppés par de grandes plages de biotite, elles-mêmes englobées par du quartz, mais dans ce cas, le feldspath (albite) est rare ou absent.

Il semble que les roches qui m'occupent ici forment des veines irrégulières dans les roches énumérées plus haut et qu'elles aient une texture et une composition hétérogènes, aplitique en certains points, pegmatique dans d'autres; dans les deux cas, s'observent des concentrations, en des points privilégiés, des divers minéraux non feldspathiques. Les différentes fouilles ont d'ailleurs fourni les mêmes espèces. Ces variations quantitatives se rencontrent dans les diverses parties d'un même filon et surtout dans les filons de localités diverses ; la tscheffkinite a été surtout récoltée à 250 mètres d'Itorendrika ; la bastnaésite à 800 mètres plus à l'Ouest, puis au Nord d'Itorendrika et à 1 500 mètres au Sud-Est d'Antsiravazo, au bord du petit ruisseau d'Anafovato. La torendrikite, en belles masses fibro-bacillaires, associées à la biotite, est surtout abondante entre Ambohimahatahotra et Marovoalavo et aussi

à Ambondrona. Il ne faudrait cependant pas exagérer l'importance de cette variabilité en ce qui concerne les pyroxènes et les amphiboles sodiques ; ces minéraux étant très altérables (en produits ferrugineux cloisonnés) ont certainement disparu plus vite que la biotite dont les cristaux hexagonaux (lames épaisses) sont remarquablement intacts.

Cryptes à cristaux. — Quelques observations me font penser que ces pegmatites ont renfermé de grandes cryptes à cristaux, comparables à celles des pegmatites granitiques. Les beaux cristaux d'hématite se sont incontestablement formés dans des cavités ; les faces de ceux de tscheffkinite, bien qu'altérées, sont nettes ; ces cristaux présentent généralement la trace d'un point d'insertion unique. Enfin, la bastnaésite, en prismes hexagonaux aplatis suivant la base, constitue souvent des agrégats miarolitiques, associés à de l'hématite. Lorsqu'on taille des lames minces dans ces cristaux de bastnaésite, on y voit parfois inclus des cristaux d'albite parfaitement distincts et intacts qui paraissent être l'équivalent de ceux qui sont si fréquents dans les cryptes des pegmatites granitiques. Malheureusement la latéritisation est venue, là encore, détruire la structure primitive.

Phase pneumatolytique. — Des phénomènes pneumatolytiques ont certainement clôturé la formation de ces pegmatites. Fréquemment en effet, les cristaux de tscheffkinite sont transformés, à leur périphérie, en une croûte fibreuse qui, au microscope, se résout en rutile et crichtonite enveloppés par de la bastnaésite et un peu de quartz. Je renvoie à la page 587 du tome I pour l'interprétation de ces pseudomorphoses. Je ferai remarquer seulement que je ne les ai observées que sur des cristaux à formes nettes que je considère comme ayant été formés dans des cryptes. Leur surface est souvent recouverte par des cristaux drusiques de quartz, des octaèdres de magnétite, des lames d'hématite.

Enfin, une particularité minéralogique est sans doute à rapporter à la même cause, je veux parler des agrégats cristallins recueillis isolés et formés d'apatite finement grenue, englobant des lames de biotite et de grands octaèdres de magnétite.

Il me faut signaler enfin des masses grenues et des cristaux nets enchevêtrés (*pm*), d'une barytine strontianifère, blanche ou jaunâtre, qui, çà et là, englobe des cristaux de biotite et de bastnaésite (Ambondrona, Ambahy). Il n'est pas sans intérêt, à ce point de vue, de noter que l'examen spectrographique de la torendrikite des mêmes gisements y révèle des traces de baryum et de strontium. Cette production pneumatolytique tardive, assez singulière dans une pegmatite, est à rapprocher de l'association de la célestite à la monazite et à l'ambatoarinite dans les calcaires cristallins métamorphisés par le granite d'Ambatoarina, localité peu éloignée de celle qui nous occupe.

Les pegmatites de l'Imorona peuvent être, dans une certaine mesure, comparées[1] à celles formant des ségrégations dans la syénite augitique de Narsarsuk, près d'Igaliko au Groenland. Ces pegmatites sont constituées par du microcline et de l'albite, de l'aegyrine, avec un peu de quartz et d'eudialyte.

De nombreux minéraux rares, d'origine pneumatolytique, sont distribués dans de petites druses ; beaucoup sont spéciaux à ce gisement[2]. Les uns sont cériques et fluocarbonatés et comparables à la bastnaésite malgache, ce sont la *parisite* (*synchysite*) et sa variété barytique, la *cordylite* ; il faut y ajouter l'*ancylite* qui est le minéral connu se rapprochant le plus de l'ambatoarinite. Les autres sont zirconifères (*catapléite, elpidite, zircon*) ou bien glucinifères (*épididymite, eudidymite*), niobifères (*chalcolamprite, endeiolite*) ou bien lithinifères (*polylithionite, taeniolite*) ; ils n'ont pas d'équivalents dans les gisements malgaches dans lesquels, par contre, abonde la tscheffkinite, riche en titane, tandis qu'au Groenland se rencontrent en fait de minéraux titanifères les espèces suivantes : *neptunite, astrophyllite, narsarsukite, lorenzénite, leucosphénite* et enfin la *tœniolite*, elles aussi absentes de la Grande Ile.

On peut aussi comparer le gisement de la bastnaésite de la vallée de l'Imorona à celui de la parisite dans le granite à riebeckite et à aegyrine de Quincy (Massachus.)[3]. Celui-ci constitue un dyke à section elliptique dont le centre est constitué par un agrégat miarolitique de microcline et d'aegyrine, entourant une cavité imparfaitement remplie par des cristaux de quartz enchevêtrés et associés à des octaèdres de fluorine et à de la crocidolite fibreuse. Dans la zone intermédiaire, se trouvent de beaux cristaux d'aegyrine et de microcline, sur lesquels sont implantés des cristaux d'anatase, d'ilménite et de *parisite*. Le fluocarbonate de terres cériques est donc bien ici le résultat d'émanations pneumatolytiques du magma, mais il ne s'y trouve qu'en petits cristaux, tandis que, dans le gisement malgache, il constitue un véritable minerai de cérium.

2° TYPES A MICAS. — *Syénites à biotite.* — A 1 kilomètre à l'Ouest d'Itorendrika, se trouve, intercalé entre un orthogneiss et un granite alcalin, un filon d'une roche à grain moyen, assez riche en biotite. Son feldspath est un microcline quadrillé et schillérisé, maclé suivant les lois de Carlsbad et de Baveno ; il constitue des plages plus grandes que celles des autres minéraux. Il existe en outre

1. Cf. A. Lacroix, *La bastnaésite et la tscheffkinite de Madagascar ; le mode de gisements des fluocarbonates dans les granites alcalins...* [75].

2. N.-H. Ussing, Geology of the Country around Julianehaab. Greenland. *Meddel. om Grönland, Copenhagen*, t. XXXVIII, 1911, p. 244.

3. C.-H. Warren and Ch. Palache, The pegmatites of the riebeckite-ægyrite-granite of Quincy. *Proceed. Amer. Acad. of Arts and Sc.*, t. XLVII, n° 4, 1911, p. 125.

un peu de zircon, d'apatite et de calcite. Il faut signaler en abondance de l'albite limpide grenue. Il semble que la structure soit en réalité granoblastique et que ce feldspath, la biotite et la calcite soient dus à une recristallisation ; ces minéraux moulent les feldspaths (*analyse* 42).

Une roche analogue mais très leucocrate se trouve aux sources de l'Itsindra ; elle possède une structure granulitique (*analyse* 45). Une autre roche filonienne, rose piquetée de vert, a été recueillie en aval d'Itorendrika ; les minéraux colorés sont un mica vert et un pyroxène vert pâle, accompagnés de sphène et de magnétite ; le quartz est assez abondant, la structure est nettement granulitique (*analyse* 46).

Syénites aplitiques. — Dans la région située entre la Mania et la Matsiatra, se voient, au milieu des granites et des orthogneiss formés à leurs dépens, des filons, orientés Nord-Sud, comme les gneiss, d'aplites syénitiques à grain fin, roses ou blanches. Elles sont essentiellement constituées par du microcline quadrillé, avec plus ou moins d'albite, peu ou pas de quartz. Les minéraux accessoires sont l'apatite, une biotite d'un brun verdâtre, des octaèdres de magnétite [collines à l'Ouest d'Ifasina (*analyse* 43)], parfois de la muscovite [filon dans diorite micacée sur l'Imorona à l'Est d'Ifasina). La structure est granulitique et les micas sont en partie postérieurs aux feldspaths.

Dans la vallée de l'Itsindra, à 6 kilomètres à l'Ouest d'Andohatsindra, et au Nord-Ouest du village fortifié de Tsilomby, les cipolins relevés verticalement sont traversés obliquement par un filon d'un mètre d'épaisseur d'une roche analogue à la précédente et dont l'albite, ainsi que le microcline maclé suivant la loi de Carlsbad, sont accompagnés d'un peu de quartz. L'apatite est assez abondante. Des lames de biotite et de muscovite sont de formation postérieure à celle des feldspaths. Dans cette roche, à grain fin et de couleur grise, le minerai est de l'hématite (*analyse* 40).

Phénomènes pneumatolytiques. — Une particularité remarquable de cette dernière roche consiste dans l'abondance de minéraux d'origine pneumatolytique dont les cristaux, atteignant plusieurs centimètres de diamètre, tapissent des diaclases ; ils appartiennent essentiellement aux trois espèces suivantes, associées ou isolées dans des points distincts : muscovite, tourmaline noire, hématite. L'hématite, en cristaux éclatants, aplatis suivant la base, est assez abondante pour avoir tenté les prospecteurs et c'est comme cela que cette roche a été mise en évidence ; on a vu tome I, page 260, que ces cristaux sont très riches en rutile microscopique. Il me reste à signaler que, par places, cette aplite est parcourue de veinules irrégulières et anastomosées, de grandes lames de muscovite.

Au toit du dyke, se rencontre une zone de $0^m,6$ d'épaisseur constituée par de

petites lamelles de biotite d'un blond doré, rappelant par leur structure la lépidolite écailleuse ; elle englobe de gros cristaux de tourmaline.

Microsyénites. — A 3 kilomètres au Sud d'Ambatofinandrahana, les calcaires cristallins sont traversés par un filon de $0^m,5$ de puissance dont les feldspaths, microcline et albite, associés ou en cristaux indépendants, sont aplatis, maclés suivant la loi de Carlsbad et orientés, donnant ainsi naissance à une sorte de structure microlitique. Ils sont moulés par un peu de magnétite, de muscovite et de biotite (*analyse* **44**).

Cette roche est traversée par des veinules et renferme des mouches de pyrite un peu aurifère et de galène argentifère.

Au mont Ravotay, se trouve, dans les mêmes conditions, un filon d'une roche analogue à deux micas, qui, comme la précédente, est intermédiaire entre les aplites et les microsyénites ; elle est un peu quartzifère et contient davantage d'albite.

Les schistes de la rive gauche de l'Ivato près d'Ambatoarina, renferment des filons d'une roche singulière ; elle est grise, à grain fin, riche en phénocristaux de biotite, en lames hexagonales de 7 à 8 millimètres de diamètre, et en cristaux de microcline ayant la même couleur noire et les mêmes dimensions ; ils sont aplatis suivant g^1, maclés suivant les lois de Carlsbad et de Baveno, leur couleur est due à un très fin pigment opaque ; ils englobent parfois la biotite. De l'apatite, en gros cristaux d'un jaune foncé, est visible à l'œil nu. L'examen microscopique montre, en outre, quelques phénocristaux d'aegyrine, en partie épigénisés par de la biotite jaune clair. Tous les minéraux qui viennent d'être énumérés sont noyés au milieu de sortes de microlites de microcline et d'albite, associés à des paillettes de biotite, dont la cristallisation est contemporaine de celle des feldspaths ou bien lui est postérieure. Enfin, çà et là, il existe des grains limpides d'albite et de quartz dont la cristallisation est certainement postérieure (*analyse* **41**).

Le tableau ci-contre donne l'analyse de ces différentes roches. On voit que quelques-unes d'entre elles ont une composition à peu près identique à celle de la finandranite, alors que les autres se rapprochent de la composition chimique des pulaskites, qui sera discutée dans l'étude des roches de la province d'Ampasindava.

Je ferai remarquer l'analogie de la composition chimique des types les plus potassiques de ces roches avec celle des trachytes potassiques de Bolsena, désignés sous le nom de *vulsinite* et, en outre, avec les trachytes à leucite (*viterbite*) qui en diffèrent seulement par une teneur un peu plus élevée en chaux (en partie feldspathisable), et par un léger fléchissement de la silice qui, au lieu d'être

en excès comme dans quelques-unes des roches malgaches, présente un léger déficit.

Voici les analyses des principales de ces roches (M. Raoult). **40**) *Syénite aplitique à biotite,* 6 kilomètres Andohatsindra I(II).5.(1)2.2 ; **41**) *Microsyénite à biotite et microcline schillérisé,* rive gauche Ivato, 1'.'5.(1)2.2' ; **42**) *Aplite syénitique,* 1 kilomètre Ouest Itorendrika, I(II).5.1(2).'3. ; **43**) *Aplite syénitique,* Ouest Ifasina, II.(4)5.1.1(3) ; **44**) *Syénite à biotite et muscovite,* 3 kilomètres Sud Ambatofinandrahana, I'.5.1.3 ; **45**) *Syénite quartzifère,* Sources de l'Itsindra (I)II.(4)5.1.3 ; **46**) *Syénite quartzifère à biotite,* aval d'Itorendrika, II.5.1.3.

a) *Vulsinite,* Bolsena près Orvieto (Italie), 1'.5.2.2 ; *b*) *Viterbite,* Sorgente di Garignano, lac de Vico, près Viterbe (Italie), 1'.5(6).2.2. (H. Washington, *Roman comagmat. région,* 1906, p. 31).

	40	**41**	**42**	**43**	**44**	**45**	**46**	*a*	*b*
SiO^2. . .	58,42	56,98	56,42	60,72	61,02	60,98	63,54	58,21	56,19
Al^2O^3. . .	18,96	18,80	16,73	15,89	17,02	15,45	14,23	18,88	20,75
Fe^2O^3. . .	4,50	3,66	3,96	5,27	4,15	5,19	4,17	4,07	1,71
FeO.. . .	1,09	2,95	4,15	1,28	1,51	2,27	1,28	0,87	2,19
MnO. . .	0,97	2,05	2,46	0,72	0,75	1,45	1,01	0,98	1,14
CaO. . .	1,64	2,34	2,28	2,02	0,68	1,68	3,04	3,58	3,53
Na^2O. . .	2,12	2,49	3,71	5,17	5,29	3,87	5,41	2,57	2,86
K^2O. . .	10,60	8,11	8,26	7,87	7,06	6,72	6,49	9,17	10,47
TiO^2. . .	0,33	0,41	0,61	0,39	0,76	0,61	0,48	0,82	0,65
P^2O^5. . .	0,64	0,76	0,59	0,29	0,09	0,81	»	0,20	0,24
H^2O +.. .	0,33	0,49	0,19	0,63	0,93	0,84	0,48	0,74	0,70
—.. .	0,21	0,23	0,16	0,04	0,12	0,09	0,11		0,30
	99,81	99,89[1]	100,30[2]	100,29	100,04[3]	100,30[4]	100,34	100,09	100,73

3° *Syénite à magnétite.* — Je dois à M. Benoist un bloc d'une roche recueillie dans la région d'Andavakoera, entre Andasibe et Ranomaloto ; elle renferme environ 63 pour 100 (en poids) de magnétite dont les octaèdres et les grains, de 1 à 2 millimètres de diamètre, sont enveloppés par du microcline grenu, rosé, de dimensions à peu près équivalentes, associé à de petites lamelles de muscovite. L'examen microscopique n'y montre pas d'autres minéraux.

La discussion de l'analyse **46**[bis]) (III) IV [5.(I)2.1'] 5.1.1.5, montre que cette roche constitue un type chimico-minéralogique nouveau qui ne figure pas dans les tables d'analyses de Washington. La seule roche connue que l'on puisse lui comparer est celle qui a été décrite par Hogböm sous le nom de *magnetit-syenit-porphyre* et

1. Y compris CO^2 0,53 ; F 0,09.
2. Y compris F 0,11 ; CO^2 0,67.
3. Y compris CO^2 0,45 ; MnO 0,21.
4. Y compris CO^2 0,34.

qui provient de Kapten, à Gellivare, en Laponie; mais l'analyse *a*, due à G. Nyblom (*in* Hogböm, *Geol. För. Förhandl.*, t. XXXII, 1910, p. 569) en diffère en ce que la proportion de magnétite est moindre et surtout que la soude y joue le même rôle que la potasse dans la roche malgache. Ses paramètres sont : III.5.1.'5. Dans la syénite d'Andasibe, une partie de la magnétite est transformée par oxydation en martite.

	45	*a*
SiO^2	22,52	32,83
Al^2O^3	7,45	9,24
Fe^2O^3	52,66	35,77
FeO	10,38	14,84
MnO	»	0,47
CaO	0,52	0,55
Na^2O	0,27	4,92
K^2O	5,41	0,86
TiO^2	0,08	0,62
P^2O^5	»	»
H^2O +	0,44	0,35
—	0,38	
	100,11	100,53[1]

Je n'ai aucun renseignement sur le mode de gisement de cette roche qui constitue probablement un filon dans le gneiss.

4° *Syénites à sillimanite et corindon.* — Je cite ici pour mémoire les syénites très potassiques à sillimanite et corindon dont je démontrerai plus loin l'origine endomorphe (page 458), leur étude ne doit pas être traitée en même temps que celle des roches normales considérées dans ce chapitre.

b. — Syénites néphéliniques (Itsindrites).

Au milieu des roches de la vallée de l'Itsindra que je dois à M. Perrier de la Bathie, j'ai trouvé [157] un type pétrographique qui est parmi les plus intéressants de l'île et qui est étroitement lié, chimiquement et génétiquement, aux roches syénitiques, quartzifères ou non, qui viennent d'être décrites. Les roches dont il s'agit forment des filons dans le massif de gabbro à olivine qui sera décrit plus loin. Elles constituent un type extrêmement potassique des syénites néphéliniques. Il faut y distinguer deux variétés.

La première a été recueillie sur l'Itsindra, près de Tsaratanana, en aval d'Andohatsindra ; c'est une roche à gros éléments, blanche, avec une petite quantité de minéraux colorés en noir, distribués en traînées qui circonscrivent des espaces circu-

1. Y compris MnO 0,05 ; S 0,03.

laires occupés par des éléments blancs. La partie ainsi délimitée rappelle vaguement par sa forme les pseudo-leucites de la borolanite, mais je n'ai vu nulle part de contours géométriques permettant d'établir une démonstration qui pourrait, d'ailleurs, s'appuyer sur l'analogie de composition chimique indiquée plus loin.

Les éléments blancs sont essentiellement formés par de grandes plages de microcline quadrillé, dépourvu de toute trace d'albite. Elles englobent des cristaux de néphéline, riches en grains et en petits cristaux d'aegyrine, puis des lames de biotite, des prismes d'aegyrine et des grains zonés de mélanite, dépourvus de toute forme géométrique. Ces minéraux colorés, peu abondants d'ailleurs, ont une tendance à se grouper par petits paquets, distribués irrégulièrement en dehors de la particularité indiquée plus haut et visibles sans le secours du microscope.

Le trait structural le plus intéressant est la constance d'une association de néphéline et de microcline qui rappelle celle du quartz et du feldspath dans la pegmatite graphique, mais avec des particularités spéciales. La néphéline forme des prismes hexagonaux aplatis suivant la base, groupés en grand nombre à axes parallèles dans une même plage de microcline. Une section perpendiculaire à leur base donne donc des baguettes dont le grand axe est perpendiculaire à l'axe principal de la néphéline ; elles ont par suite un pseudo-allongement de signe positif. Cette structure est visible, même à la loupe ; sur le clivage du microcline, la néphéline apparaît alors sous forme de petits traits à éclat gras ; cet assemblage rappelle l'aspect de la perthite vue à l'œil nu (*analyse* 46).

La seconde variété constitue des roches à grain fin et de teinte gris verdâtre, grâce à l'abondance des minéraux colorés ; on distingue sur la cassure des cristaux noirs de biotite et de mélanite.

Au microscope, l'on voit que le microcline quadrillé, maclé suivant la loi de Carlsbad, est un peu aplati suivant g^1 ; il englobe poecilitiquement beaucoup de petits grains d'acmite jaune, de biotite, de mélanite, eux aussi inégalement développés et par paquets. La néphéline est criblée d'inclusions filiformes et de petits grains d'acmite (*analyse* 47).

Cette syénite néphélinique forme des filons dans le gabbro en aval d'Ambinda sur l'Itsindra ; elle se trouve aussi sur le bord du massif, sur la rive gauche de la même rivière ; dans ce dernier gisement la néphéline est parfois un peu altérée.

Les deux analyses 46 et 47 mettent en évidence la très grande prédominance

de la potasse sur la soude ; j'ai réuni dans le même tableau l'analyse des syénites néphéliniques étudiées jusqu'ici et qui s'en rapprochent le plus, au point de vue chimique. On peut constater que les roches de l'Itsindra sont celles dans lesquelles le rapport $K^2O : Na^2O$ est le plus élevé : il va jusqu'à 1,41 (rapport moléculaire).

J'ai fait remarquer depuis longtemps que les ponces de Pompéi (analyse *d*) ont la même composition chimique que les syénites néphéliniques de Beemerville. Cette relation entre les syénites néphéliniques très potassiques et les laves leucitiques apparaît encore plus nettement par la comparaison de leur composition chimique avec celle de ces curieuses *syénites leucitiques* que j'ai trouvées dans les tufs de la Somma[1] et aussi dans ceux du Latium[2] et qui me paraissent consister en productions filoniennes du magma leucitique ayant cristallisé à quelque distance de la surface dans la masse même de ces volcans.

Il est intéressant de constater que le grenat mélanite, qui est si commun dans toutes les syénites néphéliniques potassiques, se retrouve avec la même constance dans les syénites leucitiques italiennes.

Je donne ci-contre quelques analyses (*e* à *g*) de ces syénites leucitiques qui constituent d'ailleurs une série plus étendue que les roches malgaches.

On est en droit de considérer les syénites de l'Itsindra et les syénites leucitiques comme des types hétéromorphes les uns des autres, ce qu'explique d'ailleurs l'équation bien connue :

$$\underset{\text{Leucite.}}{2[4SiO^2\,Al^2O^3(K,Na)^2O]} = \underset{\text{Orthose.}}{6SiO^2\,Al^2O^3K^2O} + \underset{\text{Néphéline.}}{2SiO^2\,Al^2O^3Na^2O}.$$

C'est en raison des différentes considérations qui viennent d'être exposées, que je propose de désigner les syénites néphéliniques de l'Itsindra sous un nom spécial, celui d'*itsindrites*.

Itsindrites : **46**) près Tsaratanana, II.6'.1'.'3 ; **47**) aval d'Ambinda, II.6.1.'3 ; *a*) Zerafshan (Turkestan), I(II).6(7).1.'3 (J. Preobajensky, *Ann. Instit. polytech. Pierre-le-Grand*, t. XV, 1911, p. 316) ; *b*) Itschan (Sibérie), I.6.1.3 (H. Washington (*Amer. J. of Sc.*, t. XIII, 1901, p. 176) ; *c*) Beemersville (New-Jersey), I.6.1(2).3 (Eakins, *in* Iddings, *U. S. Geol. Surv. Bull.*, No. 150, 1898, p. 211).

d) *Leucitphonolite* (ponce), Pompéi, Vésuve, I(II).6.1',3 (Pisani, *in* A. Lacroix, *Nouv. Arch. Mus.*, t. IX, 1907, p. 129).

Syénites leucitiques de la Somma : *e*) I'.(6)7.I'.'3 ; *f*) I(II).7'.'2.2(3) ;

1. *Nouv. Archives du Muséum*, t. IX, 1907, p. 143 et *C. Rendus*, t. CLXV, 1917, p. 205.
2. *C. Rendus*, *Ibid.*, p. 1029.

g) II.7'.(I)2.2(3) (Raoult et Pisani, *in* A. Lacroix, *C. Rendus*, t. CLXVII, 1917, p. 205).

h) *Fergusite*, Shonkin Creek (Montana), II(III).'6.1'.2(3) (E. B. Hurlbut, *in* Pirsson, *U. S. Geol. Surv. Bull.*, No. 237, 1905, p. 74).

	46	47	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*	*h*
SiO^2	52,66	54,00	56,26	55,38	53,56	54,50	54,62	51,65	50,10	51,75
Al^2O^3	20,10	18,22	21,19	23,74	24,43	21,70	22,85	21,60	18,10	14,52
Fe^2O^3	4,00	4,87	0,75	0,63	2,19	0,80	1,51	0,85	3,00	5,08
FeO	1,67	1,53	1,37	1,26	1,22	1,98	1,08	3,12	4,23	3,58
MnO	1,36	0,91	1,87	0,81	0,31	0,54	0,36	1,07	3,54	4,55
CaO	3,64	4,72	0,49	0,67	1,24	3,20	3,00	4,29	6,85	7,04
Na^2O	4,71	4,85	5,86	5,29	6,48	6,40	5,25	4,30	3,42	2,93
K^2O	10,11	9,61	11,42	10,05	9,50	9,14	11,19	11,60	9,25	7,61
TiO^2	0,54	0,66	0,15	»	»	0,27	»	0,65	0,98	0,23
P^2O^5	0,61	0,53	»	0,06	»	»	0,10	0,06	»	0,18
H^2O +	0,34	0,31	»	1,12				»		
—	0,05	0,06	»	0,38	0,93	0,89	0,36	0,25	0,35	2,25
	100,07[1]	100,27	100,00[2]	99,57[3]	99,96[4]	99,91[5]	100,32	100,62[6]	99,82	100,14[7]

J'ai joint au tableau ci-contre l'analyse de la *fergusite*, syénite leucitique dont la leucite est paramorphisée en néphéline et orthose; cette roche est une forme mésocrate des roches qui nous occupent ici.

Les syénites néphéliniques qui viennent d'être passées en revue constituent les termes les plus potassiques d'une série renfermant des quantités croissantes de sodium et conduisant à des types où les deux alcalis sont à égalité. Tandis que dans les itsindrites ne se voit aucune trace de feldspath sodique, tout le sodium entrant dans la constitution de la néphéline et de l'aegyrine, au contraire dans ces types sodi-potassiques apparaît la microperthite qui va devenir la règle dans les types franchement sodiques que nous retrouverons dans un des chapitres suivants.

Je réunis dans le tableau ci-contre les analyses de quelques-unes de ces syénites moins potassiques que l'itsindrite dont font partie les borolanites d'Écosse (syénites à pseudo-leucite).

Syénites néphéliniques. — *a*) Diamond Jo Quarry (Magnet Cove, Arkansas) I(II).6'.1.3 (H. Washington, *J. of Geol. Chicago*, t. IX, 1901, p. 611); *b*) Cnoc

1. Y compris CO^2 0,28.
2. Y compris CO^2 0,24 ; MnO 0,06 ; F 0,25 ; NaCl 0,09.
3. Y compris CO^2 0,05 ; SO^3 0,07 ; ZrO^2 0,06.
4. Y compris MnO 0,10.
5. Y compris Cl 0,49.
6. Y compris Cl 0,80 ; SO^3 0,38.
7. Y compris Cl 0,05 ; BaO 0,30 ; SrO 0,07.

na Sroine (Assynt, Écosse), I.'6.2.3 (A. Gemmel, *Trans. Edingb. geol. Soc.*, t. IX, 1910, p. 418); *c*) Kruger Mountain (Colombie britannique). II.6.1'.3 (Connor, *in* R. Daly, *Canada Geol. Surv. Mém.* n° 38, 1912, p. 453); *d*) Gentungen River, Maros (Célèbes) I.'6.1(2).3, (Morley, *in* Iddings, *Igneous rocks*, t. II, 1913, p. 527); *e*) *Borolanite*, Lac Borolan, II. 6'.'2.3 (Player, *in* Horne and Teall, *Trans. Royal Soc. Edingb.*, t. XXXVII, 1893, p. 178); *f*) *Syénite néphélinique* (*Juvite*), Juvet (Norvège, I(II).6.1.3 (Rödland, *in* Brögger, *op. cit.*, p. 91); A) Côte orientale, Kassa (Archip. de Los) (M. Raoult), 'II.6.1.3.

	a	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	A
SiO^2	53,09	53,13	55,11	56,31	47,8	51,41	55,84
Al^2O^3	21,16	24,87	21,28	21,69	20,1	20,41	18,61
Fe^2O^3	1,89	2,25	2,64	1,20	6,7	1,08	3,01
FeO	2,04	1,40	1,29	0,97	0,8	1,55	1,48
MgO	0,32	tr.	0,59	0,54	1,1	0,10	1,43
CaO	3,30	2,68	2,82	1,88	5,4	4,27	3,74
Na^2O	6,86	5,56	6,24	5,56	5,5	6,67	5,68
K^2O	8,42	7,26	8,36	9,17	7,1	8,21	7,78
TiO^2	0,11	0,60	0,48	0,41	0,7	0,47	1,54
P^2O^5	0,15	»	0,27	0,13	»	0,36	0,09
H^2O +	1,13	1,05	0,58	1,13	2,4	2,01	0,82
—	0,24	0,36	0,14			0,19	0,11
CO^2	0,82	»	0,08	»	»	3,04	0,07
	100,48 [1]	99,16 [2]	99,96 [3]	99,72 [4]	99,3 [5]	100,21 [6]	100,20

Au moment où cette feuille allait être mise en page, j'ai reçu un important mémoire de M. Brögger [7] sur les roches de la région de Fen, en Norvège, dans lequel il décrit parmi beaucoup d'autres roches intéressantes, une syénite néphélinique dont l'analyse a été jointe à la fin du tableau (analyse *f*) ci-contre, où elle se trouve à côté de types très semblables.

M. Brögger propose de prendre cette roche pour type et de désigner dorénavant sous le nom de *juvite*, du nom de la localité Juvet qu'il étudie, *toutes* les syénites néphéliniques dans lesquelles le potassium l'emporte sur le sodium. Je ne puis suivre mon savant ami dans cette généralisation ; il ne me semble pas recommandable de prendre comme type d'un grand groupe lithologique une roche qui se trouve sur l'extrême lisière de celui-ci, d'autant plus que la roche

1. Y compris ZrO^2 0,04 ; MnO 0,20 ; BaO 0,61 ; Cl 0,02 ; S 0,08.
2. Y compris MnO 0,58.
3. Y compris MnO 0,08.
4. Y compris MnO 0,16 ; Cl 0,28 ; F 0,03 ; S 0,17 ; BaO 0,05 ; SrO 0,04.
5. Y compris MnO 0,8 ; BaO 0,8 ; SO^3 0,4.
6. Y compris ZrO^2 0,04 ; BaO 0,05 ; F 0,02 ; S 0,27.
7. Die Eruptivgesteine des Kristianiagebietes. IV. Das Fengebiet in Telemark, Norwegen. *Videnskap. Skifter.* I. *Math, naturv. Klasse.* Kristiania, 1920, n° 9 [1921], p. 86.

de Juvet[1] ne renferme plus à l'état intact son minéral caractéristique ; la néphéline y est entièrement transformée en cancrinite et en muscovite. Comme le reconnaît M. Brögger lui-même, la production de ce mica est le résultat d'une modification notable dans les rapports du potassium au sodium, de telle sorte qu'en réalité la roche de Juvet a été encore plus sodique que ne l'indique son analyse.

Dans un tableau où figure, à côté de la roche de Juvet plusieurs des syénites dont la composition est indiquée plus haut, M. Brögger a donné la moyenne des rapports moléculaires $K^2O : Na^2O$ de ses juvites, dans le calcul de laquelle il a fait entrer les résultats de l'analyse de l'une de mes roches de l'Itsindra ; il en conclut que ses juvites sont caractérisées par un rapport moyen $K^2O : Na^2O = 1 : 1,24$. La véritable nature de l'itsindrite est ici masquée par une erreur de transcription qui, pour cette roche, a fait intervertir les rapports afférents à K^2O et à Na^2O ; le rapport caractéristique de l'itsindrite mis sous cette forme, est en effet 1 : 0,71 et non 1 : 1,41, cette grande différence légitime d'ailleurs mes conclusions et l'établissement d'un type spécial pour cette roche et pour ses analogues.

B. — *Série sodique*.

a. — Syénites à amphibole et pyroxène sodiques.

α. **Syénite à torendrikite.** — Dans la région des syénites potassiques qui viennent d'être étudiées plus haut, entre Ambohimahatahotra et Marovoalavo, sur la rive droite de l'Imorona, se trouve une intéressante syénite leucocrate faisant partie de la même série, mais présentant la particularité d'être plus sodique que potassique.

Elle est essentiellement constituée par de grandes plages xénomorphes de microcline corrodées par de l'albite et par de l'albite en plages indépendantes ; ces feldspaths englobent de l'aegyrine verte, çà et là orientée sur des baguettes plus grosses de torendrikite bleue. Il existe quelques gros octaèdres $b^{1/2}$, zonés, de zircon et des grains de magnétite.

C'est là la structure normale, mais, en de nombreux points, existent des grains arrondis d'albite ; cette apparition de la structure granoblastique établit un

1. La syénite de Juvet renferme en outre une quantité importante de calcite (3,04 % CO^2) que l'auteur considère comme d'origine endomorphe.

passage à une leptynite syénitique. La composition chimique de cette roche n'est pas éloignée de celle du granite à aegyrine décrit page 230, elle encaisse des filons de la pegmatite syénitique à bastnaésite. L'analyse **48** conduit aux paramètres (I)II.'5.1.'4.

	48
SiO^2	65,16
Al^2O^3	15,44
Fe^2O^3	3,23
FeO	0,69
MgO	0,76
CaO	2,30
Na^2O	6,67
K^2O	5,07
TiO^2	0,51
P^2O^5	0,06
H^2O +	0,31
— —	0,15
	100,35

β. **Syénite à pyroxène.** — Je dois au P. Muthuon une roche grenue recueillie dans une autre région que les précédentes, au milieu des schistes cristallins à Tokotanibe, au pied du mont Nanjabe, dans la haute Varana. C'est une roche leucocrate essentiellement constituée par de l'orthose faculée d'albite, avec quelques cristaux indépendants d'albite. Les éléments colorés très altérés et imprégnés de limonite sont constitués par un diopside allongé suivant *c* et par une hornblende d'un vert très foncé ; à signaler encore beaucoup de zircon, un peu d'apatite et de magnétite.

Je n'ai pas de renseignements sur les roches qui accompagnent cette syénite qu'il serait intéressant d'étudier sur place.

γ. **Aplites syénitiques sodi-potassiques.** — Les quartzites de la rivière Belahy, affluent de l'Imahatodika, dans la région de Midongy, renferment une aplite à grain fin, dans laquelle, à l'œil nu, se distinguent des cristaux au milieu de feldspath rosé. L'examen microscopique montre que l'albite prédomine parmi ceux-ci ; elle est accompagné de microcline, de quelques rares grains d'augite aegyrinique, de hornblende d'un vert sombre, de magnétite, bordée de leucoxène, avec un peu de zircon. La structure est grenue, mais avec tendance à l'aplatissement des feldspaths.

L'*analyse* **49** (M. Raoult) montre que cette aplite est très analogue au point de vue chimique à la syénite étudiée plus haut. I.'5.1(2).(3)4.

	49
SiO^2.	64,54
Al^2O^3.	17,78
Fe^2O^3.	2,86
FeO.	1,28
MgO.	0,49
CaO.	1,24
Na^2O.	6,11
K^2O.	5,24
TiO^2.	0,13
P^2O^5.	0,11
H^2O +.	0,31
—.	0,07
	100,16

δ. **Syénites aplitiques sodiques.** — Les gabbros de la vallée de l'Itsindra sont traversés, non seulement par des syénites néphéliniques potassiques, mais encore par des filons d'une aplite rosée, formée presque uniquement par des cristaux aplatis et enchevêtrés d'une albite un peu calcique, légèrement aplatie suivant g^1, et associée à quelques paillettes de muscovite, un peu de zircon et fort peu de quartz.

L'*analyse* **50** donnée ci-dessous montre que cette roche constitue un terme de différenciation persodique I'.'5.1'.5 qu'il est intéressant de voir accompagner tant de roches si exceptionnellement potassiques.

Ce type lithologique est lui-même assez rare ; on peut lui comparer deux roches à facies syénitique, l'une de Koswinsky (Oural), décrite par MM. Duparc et Pamfil, sous le nom d'*albitite* (*Bull. Soc. franç. Minér.*, t. XXXIII, 1910, p. 369) (*analyse a.* I.5.1.5), l'autre, constituant aussi des filons, au Col de Seraillet, près de Mont Genèvre (Hautes-Alpes) ; j'en ai fait faire (M. Raoult) l'*analyse* A I'.(4) (5).(1) 2.5, sur un échantillon que m'a remis M. Termier. Dans cette dernière roche, un peu plus quartzeuse, le feldspath est une albite-oligoclase à 9 pour 100 d'anorthite. Toutes ces roches, de même que celles de l'Itsindra, sont en relation avec des gabbros.

	50	*a*	A
SiO^2.	66,12	67,07	66,62
Al^2O^3.	17,51	18,85	16,65
Fe^2O^3.	2,74	0,91	1,58
FeO.	1,00	n. d.	1,41
MgO.	0,29	1,53	1,51
CaO.	1,52	1,09	2,06
Na^2O.	9,72	10,84	8,48
K^2O.	0,25	0,48	0,23
TiO^2.	0,39	0,23	0,36
P^2O^5.	0,09	»	0,05
H^2O +.	0,53	n. d.	1,10
—.	0,13		—
	100,29	101,00	100,05

b. — Syénites néphéliniques.

Le seul gisement de syénites néphéliniques sodiques intactes[1] que je connaisse dans le Massif cristallin est fort éloigné de celui des itsindrites : il se trouve aux environs d'Anosikely, à environ 1 kilomètre du confluent de la Mahajamba et de la Betsioka, entre celui-ci et Madinilatsaka (rive droite de la Betsioka). J'ai trouvé le premier échantillon que j'ai examiné dans la collection du Service des Mines de Tananarive ; M. l'Administrateur Th. Pouperon a bien voulu rechercher le gisement qu'il a été assez heureux pour retrouver. Depuis lors, M. Perrier de la Bathie a visité la localité et m'a fourni de nombreux échantillons, me permettant de compléter la première description que j'en ai donnée [138].

Cette syénite constitue une série de collines allongées dans la direction Est-Ouest : sur le terrain, par sa blancheur, et par ses corrosions, elle ressemble à un calcaire cristallin. Elle paraît traverser les gneiss très fissiles, au milieu desquels sont intercalés des lits de quartz et de quartzites à magnétite. Elle se transforme en latérite gibbsitique caverneuse.

C'est une roche à gros grain, blanche et rose, présentant des lits pegmatiques hololeucocrates et d'autres, micacés, à éléments de moindres dimensions. Elle est vaguement rubanée à la façon de certains orthogneiss de l'île ; mais le rubanement est presque toujours perpendiculaire à celui des micaschistes (latéritisés) encaissants qu'elle paraît avoir traversés.

A l'œil nu, la néphéline, rosée et à éclat gras, se distingue aisément du feldspath blanc laiteux, surtout dans la variété à grands éléments.

L'examen microscopique montre que les feldspaths consistent en microcline, à macles quadrillées, en albite, non maclée ou présentant des bandes larges et régulières de la macle de l'albite. Le minéral coloré dominant est la biotite, associée à la muscovite et à une moindre quantité d'une amphibole verte présentant les grands angles d'extinction et les propriétés de la *hastingsite*. De gros cristaux d'allanite, souvent frangés d'épidote ou de l'épidote, en cristaux indépendants, sont assez abondants. La structure est grenue.

Je donne ci-contre l'analyse du type à grain moyen qui présente parfois un facies gneissique par suite de l'orientation de la biotite. **51**). II.(5)6.1.4 et du type

1. On trouvera dans le chapitre des schistes cristallins (p. 504) la description d'une roche qui a été une syénite néphélinique, mais dont la forme actuelle me paraît être le résultat d'une recristallisation granoblastique, comparable à celle qui a donné des leptynites aux dépens des granites éruptifs, aussi m'a-t-il paru nécessaire de la décrire dans le même chapitre que ces roches. Sa formule magmatique est 1.6.2.4.

leucocrate à grands éléments. **52**), I.6.1.4. (M. Raoult). Cette composition est voisine de celle que nous allons retrouver dans l'étude des roches de la province d'Ampasindava ; je n'insisterai donc pas sur elle ; je me contenterai de faire remarquer que cette syénite néphélinique se distingue de toutes celles de la série sédimentaire par la nature de son feldspath qui est du microcline dépourvu de microperthite, alors que celle-ci est à peu près constante dans les autres syénites auxquelles je fais allusion. Ces dernières ne renferment jamais de microcline, pas plus d'ailleurs que les syénites dépourvues de néphéline de la région sédimentaire, alors que ce feldspath se rencontre dans toutes les vieilles roches syénitiques du Massif cristallin.

	51	52
SiO^2	55,04	56,68
Al^2O^3	16,89	24,47
Fe^2O^3	5,13	2,43
FeO	5,99	1,28
MgO	0,51	»
CaO	3,56	0,78
Na^2O	7,22	9,61
K^2O	3,88	4,29
TiO^2	0,68	0,06
P^2O^5	0,48	0,04
H^2O +	0,58	0,71
—	0,22	0,09
	100,18	100,44

CHAPITRE IV

ROCHES A PLAGIOCLASES

I. — DIORITES [1]

A. — *Diorites proprement dites.*

Les diorites sont assez abondantes à Madagascar, mais je n'en connais pas de massifs distincts. Elles constituent d'ordinaire des facies de variation de deux catégories de roches éruptives.

Beaucoup d'entre elles passent, en effet, aux *granodiorites* par disparition plus ou moins complète du feldspath potassique exprimé. Je dis exprimé, car dans bien des cas, il n'existe pas de différence de composition chimique très notable entre des roches renfermant un peu d'orthose ou de microcline et d'autres n'en contenant pas ; dans ce dernier cas, la potasse entre en grande partie dans la constitution de la biotite. Ces roches ont l'aspect physique des granodiorites ; tel est le cas d'une diorite à grain moyen dont les éléments colorés, assez peu abondants, sont une augite peu alumineuse et la biotite ; elle se trouve dans la falaise d'Ampamarinana, à Tananarive (*analyse* **61**) ; elle existe aussi au seuil de Farahantsana (*analyse* **55**) [facies de variation de la granodiorite (*analyse* **26**)].

Un autre type est caractérisé par son facies malgachitique ; les éléments colorés y sont la biotite, l'hypersthène ou le diallage, souvent associés. Il constitue des roches intermédiaires entre les granites leucocrates à facies malgachitique décrits plus haut et le facies malgachitique de gabbro qui sera étudié plus loin. Il diffère de ce dernier par la nature du plagioclase qui est une andésine et des granites malgachitiques par l'absence ou la rareté de l'orthose, en même temps que par une

1. J'emploie ce terme dans le sens de roche grenue dont le plagioclase est constitué par une andésine, et non pas pour spécifier l'association plagioclase-amphibole.

proportion moindre du quartz. Ces diorites ne sont plus *quartziques*, mais elles sont généralement *quartzifères*.

Je citerai comme exemple un gisement situé à Anosiroa, au Sud-Ouest du lac Alaotra sur la route conduisant à Anjozorobe (*analyse* **53**), il renferme des variétés leucocrates à grands éléments, parmi lesquelles se remarquent de larges lames de biotite, cette roche forme des filons et des ségrégations au milieu d'une variété à grain moins gros et de coloration plus foncée. Un autre gisement intéressant, dans lequel la roche se rapproche davantage, comme aspect, d'un gabbro normal, s'observe à mi-chemin entre la Mania et la Manandona (*analyse* **54**).

Une diorite recueillie à l'Est d'Ifasina, sur l'Imorona, est à grain fin ; elle est grise, tachetée de noir, par des lames de biotite isolées les unes des autres ; au microscope, le mica se montre poecilitique, il englobe l'andésine et le diallage.

B. — *Diorites pegmatiques.*

Les péridotites serpentinisées d'Ampangabe, sur la Jabo, sont traversées par des filons de diorite à grands éléments, atteignant plus de 10 centimètres de longueur. Elles sont essentiellement constituées par de la hornblende prédominante et de l'oligoclase accompagnés d'un peu de quartz. C'est une véritable pegmatite dioritique, comparable à celle que j'ai rencontrée en filons dans les lherzolites de l'Ariège, mais dans ces gisements, le feldspath prédomine toujours de beaucoup sur la hornblende, tandis que l'inverse a lieu dans la roche malgache. Un type qui s'en rapproche davantage se trouve dans les Alpes et particulièrement au mont Genèvre et aussi en Corse, associé à des serpentines, mais là, le métasilicate est constitué par du diallage. Il ne faut pas confondre ces diorites avec les véritables gabbros (euphotides) qui se trouvent dans les mêmes régions et dont le plagioclase est un labrador.

Dans les roches qui nous occupent, le feldspath exprimé est un oligoclase, souvent voisin de l'albite, mais le feldspath calculé est toujours plus riche en molécules d'anorthite (andésine), le métasilicate, qu'il soit du diallage ou de l'amphibole, étant toujours notablement alumineux.

Les échantillons d'Ampangabe que j'ai étudiés sont à éléments trop gros pour qu'il m'ait été possible d'en faire faire l'analyse, mais afin de donner une idée de la composition de cette roche, je reproduirai ci-dessous (A) l'analyse que j'ai fait effectuer de la diorite pegmatique du mont Genèvre (M. Raoult) : elle a le même feldspath exprimé que la roche malgache, mais son feldspath intact est une

andésine renfermant 41 pour 100 d'anorthite. La formule magmatique de la roche est III.5.3.5.

	A
SiO^2	51,20
Al^2O^3	13,26
Fe^2O^3	3,86
FeO	3,47
MgO	9,57
CaO	12,52
Na^2O	3,44
K^2O	0,21
TiO^2	0,81
P^2O^5	0,04
H^2O +	1,36
—	0,19
	99,93

C. — *Diorites à facies diabasique*[1].

Parmi les nombreux filons de gabbros à facies diabasique qui vont être décrits page 410, se trouvent, particulièrement dans la forêt de la côte Nord-Est, des roches qui doivent être rapportées à la famille des diorites. Elles sont généralement moins riches en éléments colorés que la moyenne des autres filons ; le pyroxène y est localisé, de telle sorte que le feldspath y est très apparent. La roche est blanche, tachetée de vert : sa structure est nettement ophitique, la proportion du quartz est souvent assez grande et je la considère comme une *diorite à facies diabasique*.

Le type le plus leucocrate que je connaisse et qui passe aux diorites quartziques existe à l'Ouest de Fénérive, en dykes dans les gneiss ; je l'ai observé à l'Est de Betampona et à Vohiborimo (il passe à des types quartziques, *analyse* **30**, page 242). Les éléments colorés sont l'augite magnésienne (2V petit) et un peu de hornblende brune et de bronzite ; les plagioclases sont zonés (oligoclase à andésine) ; leurs intervalles intersertaux sont remplis par du feldspath (orthose et oligoclase) et par du quartz.

En aval d'Ambohabe, sur la Soamianina, se trouve une roche assez analogue constituant un dyke de 12 mètres d'épaisseur qui traverse la rivière : elle est irrégulièrement tachetée de jaune clair par de petites paillettes microscopiques de biotite qui entourent les plagioclases. Il existe assez peu de microperthite intersertale.

Une diabase tigrée forme un gros dyke dans les gneiss de la rivière Sahamanga

1. Pour les descriptions lithologiques, j'ai abandonné le terme de *diabase* qui prête à tant de confusion et j'appelle diorite, gabbro, à facies diabasique, celles de ces roches qui possèdent une structure ophitique ou intersertale.

(Ouest d'Anosibe), à l'Est d'Ampitambe ; les intervalles intersertaux du plagioclase sont remplis par de l'orthose trouble et par un peu de quartz.

Enfin à l'Ouest de Savahondano (Ouest de Fénérive) et sur la rivière Sakaivolo, j'ai recueilli des roches du même aspect qui sont dépourvues de quartz exprimé (il existe un peu de quartz virtuel) et renferment une petite quantité d'olivine.

Certaines de ces diorites, à facies diabasique, sont plus riches en pyroxène que les roches précédentes et prennent alors la coloration d'un noir verdâtre qui est la plus habituelle aux gabbros de même facies qui vont être décrits plus loin. Tel est le cas de celle qui forme un filon à Imody (8 kilomètres à l'Ouest d'Ambositra). Elle renferme un peu d'olivine, sa structure est intersertale (avec quartz) ce type établit le passage aux gabbros à structure diabasique (*analyse* **56**).

Inversement la teneur en quartz et en feldspaths alcalins s'exagère dans certains types qui établissent la transition aux roches du genre de celles d'Ampontsiambo (Cf. p. 242) qui est une diorite *quartzique*.

D. — *Microdiorites.*

Je désigne sous ce nom des roches filoniennes noirâtres, à grain fin, généralement porphyriques, mais à très petits phénocristaux, roches offrant le même aspect extérieur que les microgabbros qui vont être décrits plus loin, bien qu'en général leur couleur soit moins foncée par suite de l'abondance plus grande des plagioclases : ceux-ci, en outre, sont moins riches en molécules d'anorthite. Ces microdiorites sont généralement quartzifères. Le plus souvent, il existe peu de différence dans les dimensions des phénocristaux et des cristaux de la pâte qui les englobe.

Les phénocristaux, souvent zonés, peuvent cependant atteindre 1 centimètre de plus grande dimension ; ils oscillent entre le labrador et l'andésine, avec fréquemment une bordure d'oligoclase de même composition que les grains de la pâte. D'ordinaire, ces phénocristaux sont finement schillérisés ; le plagioclase de la pâte est tantôt franchement grenu et tantôt un peu aplati suivant g^1, sans jamais être nettement microlitique. Les éléments colorés sont de l'augite grenue, avec ou sans hornblende, ou seulement de la hornblende ; ces minéraux ne sont pas ophitiques par rapport aux feldspaths, mais leurs grains entourent les cristaux de ceux-ci. Il existe généralement, en outre, de la biotite et toujours plus ou moins de magnétite, parfois très titanifère.

Je connais de telles roches en dykes dans la série schisto-quartziteuse de l'Ouest de Betafo, notamment entre Ambohimasina et Alakamisy (plagioclases aplatis, augite dominant sur la hornblende) ; sur le Bongolava, dans la région de

Miandrivazo (structure microgrenue à gros grain) : près de Malamavato, sur la Rienana (roche non porphyrique).

Un dernier type ne contient que peu de hornblende, mais beaucoup de biotite d'un brun verdâtre ; deux variétés structurales sont à distinguer dans ces *microdiorites micacées*, à grain fin. Dans l'une, la roche est franchement microgrenue et porphyrique ; les phénocristaux de labrador ou d'andésine schillérisés sont très zonés. Cette variété est réalisée dans un filon observé dans le lit de l'Onivibe, près de son confluent avec la Matsiatra ; le feldspath de la pâte est très zoné, il est criblé de gros grains de magnétite et de cristallites de pyroxène.

La seconde variété possède une structure qui rappelle un peu celle des gabbros à facies diabasique ; de grands cristaux d'andésine schillérisés prédominants sont enchevêtrés et leurs intervalles remplis par de la biotite, fort peu de hornblende, de la magnétite, un peu d'oligoclase et surtout par de la micropegmatite d'orthose et de quartz. Cette roche est réalisée à Ankafina (*analyse* **57**), sur la route d'Alakamisy à Ambohimasina, au Sud de Fianarantsoa. Elle m'a été donnée comme constituant un filon dans le granite, mais il est possible qu'elle constitue en réalité des enclaves homœogènes dans cette roche. Il existe aussi des microdiorites oscillant vers des microgabbros (rova de Betafo. Cf. page 415) (*analyse* **63**).

J'ai rencontré une roche très analogue entre le Iankiana et Ovimangidy (*analyse* **60**) ; entre Ankadimanga et Andrainarivo (Ouest de Tananarive (*analyse* **62**), ainsi qu'à Talata, près Ambohitra, à l'Est d'Ambohitromby (*analyse* **59**).

L'analyse de ces diorites micacées (**57** à **60**) montre que leur composition chimique est souvent voisine de celle des kersantites.

E. — *Composition chimique des diorites.*

Il n'y a pas lieu de séparer l'étude de la composition chimique de ces diverses modalités des roches dioritiques. Les analyses suivantes ont été effectuées par M. Raoult.

Diorites pyroxéniques micacées quartzifères. — **53**) Anosiroa (hypersthène). II.'5.'3.4 ; **54**) entre la Mania et la Manandona, II.4(5).'3.4.

55) *Diorite quartzifère.* Seuil de Farahantsana. II.5.3.4'.

56) *Diorite à structure diabasique*, Imody, II(III).4(5).3.3(4).

Microdiorites micacées. — **57**) Ankafina, II(III).(4)5.2.(3)4 ; **58**) S. de la Rienana, II(III).4(5).(2)3.4 ; **59**) Talata, près Ambohitra, II.'5.'3.(3)4 ; **60**) Entre le Iankiana et Ovimangidy, II.5.'3.3(4).

61) *Diorite à augite et biotite*, Tananarive, 'III.5.3.4 ; **62**) Entre Ankadimanga et Andrainarivo, II.(4)5.(2)3.3(4).

63) *Microdiorite amphibolique micacée*. Sous le rova de Betafo. III.5.3.4[2.2'.'2.3].

	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
SiO^2. .	56,30	55,34	56,14	51,58	53,58	53,46	52,86	54,70	50,76	56,28	47,18
Al^2O^3. .	15,62	16,11	18,42	13,67	12,60	12,21	15,77	16,36	14,11	15,73	14,27
Fe^2O^3. .	4,37	6,67	2,79	3,67	3,58	3,55	4,56	3,53	5,14	3,93	4,36
FeO. .	4,23	4,54	4,82	7,84	7,70	8,97	6,15	5,21	6,43	4,38	9,41
MnO. .	4,14	1,94	2,34	4,34	3,52	3,47	3,08	3,48	6,84	2,58	6,74
CaO. .	7,20	6,40	7,76	7,46	7,52	7,66	6,56	6,50	10,10	5,96	8,72
Na^2O. .	3,95	3,81	4,21	2,67	3,52	3,19	3,54	3,62	3,41	3,56	3,24
K^2O. .	2,34	2,91	1,43	2,58	2,91	2,05	3,03	3,43	1,44	3,57	1,43
TiO^2. .	1,40	1,59	1,29	4,36	4,02	3,99	2,97	1,89	1,40	2,18	2,82
P^2O^5. .	0,27	0,31	0,23	1,15	0,98	0,71	0,48	0,45	0,17	0,30	0,86
H^2O +.	0,43	0,34	0,35	0,56	0,19	0,87	0,62	0,51	0,20	1,21	0,91
—.	0,02	0,22	0,23	0,16	»	»	0,15	0,06	0,12	0,19	0,14
	100,27	100,18	100,01	100,04	100,12	100,13	99,77	99,74	100,12	100,08[1]	100,08
An °/o	35	36	43	43	26	32	39	38	39	35	42

II. — GABBROS.

Les gabbros[2] forment des massifs souvent assez étendus, soit au milieu des gneiss, soit dans la série schisto-calcaire ; ils y constituent aussi parfois de gros dykes.

Il y a lieu de considérer successivement les cas dans lesquels la roche est réduite à son labrador caractéristique, celui dans lequel ce feldspath est accompagné d'une quantité plus ou moins grande de métasilicates ou d'olivine et enfin celui dans lequel ce dernier minéral prédomine ou même existe seul.

A. — *Types hololeucocrates (labradoritites).*

Les labradoritites, roches grenues, exclusivement ou presque exclusivement constituées par des plagioclases, ne paraissent constituer à Madagascar que des facies de variation des gabbros.

Une roche rappelant les « anorthosites »[3] du Canada est associée à un gabbro à facies pegmatique au pont de la Telomita, à l'Est de Miandrivazo ; l'échantillon que je dois à M. Dropsy est formé par des cristaux de labrador d'un gris de fumée

1. Y compris CO^2 0,21.
2. J'emploie ce terme pour définir les roches grenues à labrador et non plus les roches à plagioclase et diallage.
3. Dans ma nomenclature, je n'emploie pas le terme d'*anorthosite*, mais ceux d'*oligoclasite*, *andésinite*, *labradoritite*, *anorthitite*, suivant la nature du plagioclase qui constitue ces roches grenues entièrement formées par un plagioclase.

dont les clivages mesurent environ 1 centimètre de plus grande dimension, ils présentent avec une grande netteté les stries de la macle de l'albite.

M. Giraud m'a remis une série d'échantillons qu'il a recueillis à une quarantaine de kilomètres à l'Ouest d'Antanimora, sur la rivière Volovolo, affluent de droite du Manambovo. Là, au milieu des gneiss, se trouve un petit massif, ayant environ 1 500 mètres de diamètre, d'une roche à grands éléments essentiellement constituée par du labrador (densité 2,69) présentant la couleur jaune clair des malgachites. Il s'y adjoint par places de très grands cristaux d'hypersthène et quelquefois un peu de diallage. Ces pyroxènes forment localement des masses de la grosseur de la tête et il existe aussi des concentrations locales de magnétite titanifère. Çà et là, le feldspath présente la structure cataclastique ; c'est probablement de ce massif que proviennent d'énormes cristaux d'hypersthène, associés au diallage, curieusement déformés par actions mécaniques que m'a donnés jadis M. G. Grandidier à la suite de son voyage dans l'Androy.

Je dois à M. Perrier de la Bathie un échantillon d'une labradoritite à très grands éléments qui semble être un facies de variation d'un gabbro ouralitisé de la rive gauche de l'Iazarafotsy près Ibory (Sud-Ouest Ankaratra).

J'ai recueilli à Vohitsara, sur le bord Nord-Ouest du lac Alaotra, des blocs très hétérogènes dont certains sont formés presque exclusivement par du labrador, alors que d'autres renferment beaucoup d'augite et de biotite ; ils proviennent probablement de la région voisine du mont Ankitsika dont nous retrouverons plus loin les diallagites et les gabbros.

L'*analyse* **63** de la *labradoritite* du pont de la Telomita, I,5.4.'5, a fourni des résultats sensiblement identiques à celle de la même roche provenant *a*, de Nain (Labrador) (A. Wichmann, *Z. d. d. geol. Gesell.*, t. XXXVI, 1884, p. 491, I. 5.'4.(4)5, et, *b*, d'Ogne, près Ekersund (Norvège) (Kolderup, *Bergen Mus. Aarb.*, N° 5, 1896, p. 96), 1.5.4.(4)5.

	63	*a*	*b*
SiO^2	53,04	53,43	53,42
Al^2O^3	28,42	28,01	28,36
Fe^2O^3	1,00	0,75	1,80
FeO	0,59	n. d.	n. d.
MgO	0,32	0,63	0,31
CaO	11,92	11,24	10,49
Na^2O	3,58	4,85	4,82
K^2O	0,54	0,96	0,84
TiO^2	0,16	»	»
P^2O^5	0,12	»	»
H^2O +	0,44	tr.	»
—	0,19	»	»
	100,32	99,87	100,04

B. — *Types leucocrates et mésocrates.*

a. — Gabbros proprement dits[1].

α. **Gabbros à facies malgachitique.** — Ces gabbros possèdent l'aspect extérieur des granites à facies malgachitique auxquels ils sont souvent associés et avec lesquels ils présentent des passages ménagés.

Ce sont des roches grenues, à grain moyen ou à gros grain, caractérisées par l'association de plagioclases non zonés (andésine basique à labrador ne dépassant pas 55 pour 100 d'An.), à de la biotite, accompagnée d'hypersthène, de diallage, de hornblende[2], associés entre eux dans toutes les proportions possibles. La structure est plus ou moins nettement granulitique.

Quand les minéraux colorés sont abondants — leur teneur peut atteindre 40 pour 100 — la roche est de couleur foncée, plus ou moins noire ; quand ils existent en moindre proportion, les feldspaths apparaissent avec cette couleur de cassonade qui est caractéristique du facies malgachitique. Les cristaux de biotite peuvent atteindre 1 centimètre de diamètre ; ils sont fréquemment pœcilitiques par rapport aux métasilicates.

Des phénomènes de différenciation sont fréquents ; dans ces diorites, les variétés de couleur sombre sont traversées par des veines plus claires, mais ces roches, toujours associées aux gneiss, ne sont que rarement rubanées.

L'examen microscopique montre comme minéraux accessoires constants : de l'apatite, avec souvent des inclusions ferrugineuses filiformes, de la magnétite plus ou moins titanifère et assez souvent de l'orthose et du quartz ; dans ce cas, la myrmékite n'est pas rare. Je n'ai jamais vu de sphène.

Voici les variations minéralogiques que j'ai observées avec l'indication de quelques gisements caractéristiques. Dans toutes les roches qui vont être énumérées tout d'abord, la biotite est constante et leurs divisions sont basées sur la nature du ou des métasilicates qui l'accompagnent.

Type à diallage. — Route d'Ambositra à Antsirabe, km. 136 (un peu de quartz, d'orthose et de mirmékite) ; km. 235 et 238 ; Ivahona entre Ambatofinandrahana et Bedihy (fines macles polysynthétiques dans le pyroxène) ; Ambodisaka sur la rive droite de la Matsiatra, près du confluent de la Saka (feldspaths schillérisés, un peu d'olivine et d'hypersthène transformés en talc et en magnétite).

1. Le pyroxène des gabbros est souvent, en partie ou en totalité, transformé en amphibole : ce phénomène d'*ouralitisation* est traité page 445, je ne décris ici que les roche intactes.

2. Cette hornblende est la même que celle des granites (angle des axes très petit et forte dispersion).

Entre le Navoha et l'Ambohipisaka (trachyte) sur la haute Fitamalama, au Nord de Betafo (massif important, avec variétés très feldspathiques à grands éléments).

Type à diallage et hypersthène. — Route d'Ambositra à Antsirabe (*analyses* **64** et **65**) ; Ivony, à l'Ouest d'Ambositra (roche à grands éléments) (*analyse* **66**) ; vallée au Nord de l'hôpital de Tananarive (beaucoup de quartz, hypersthène en grands cristaux allongés, moulant localement le quartz et les plagioclases) ; près Antranovato (Nord-Est de Bejofo) ; rivière Ankingafohy (Est d'Ambohitsara) (peu de biotite, beaucoup de quartz) ; entre la Sahambava et le Bemarivo ; Ankarimbelo près Tanandambo (confluent de l'Andavatony et de la Matitanana) (plagioclase un peu aplati) ; Ambatomiraika (canal de Katsaoka) ; Tsaratanana.

Type à diallage, hypersthène et hornblende. — Nord-Est d'Anjozorobe (grain fin) ; route d'Ambositra, km. 140 (pas de quartz, éléments colorés distribués par taches) et km. 236 ; Sud d'Ambatofotsikely (roche non quartzifère, traversée par pegmatite).

Type à hypersthène et hornblende. — Rivière Ankingafohy.

De même que pour les granites à facies malgachitique, certaines variétés de ces gabbros sont dépourvues de biotite ; en voici divers exemples.

Type à diallage. — Befiana, sur l'Andranomalaza (associé à des veines parallèles de malgachite).

Type à diallage et hypersthène. — 900 mètres à l'Est d'Anjanahary près Tananarive (un peu de quartz, le diallage forme de gros cristaux qui englobent les feldspaths) ; sommet de l'Andohaela (Androy) (quartz).

Type à diallage, hypersthène et hornblende. — Ambatomanga, sur le bord oriental du lac Alaotra (un peu de hornblende d'un brun vert foncé) ; bas du col d'Andohaela (hornblende brune ; macles fines, polysynthétiques dans le pyroxène).

Type à hypersthène et à hornblende. — Rivière Ankingafohy (hornblende et hypersthène en partie postérieurs aux feldspaths).

Cette énumération montre que, comme les granites à facies malgachitique, ces gabbros sont distribués à travers l'île toute entière.

β. **Gabbros normaux.** — Un grand nombre des gabbros malgaches appartiennent à ce groupe. D'ordinaire les types riches en feldspaths sont de couleur claire, mais il n'en est cependant pas toujours ainsi, car, fréquemment, leurs plagioclases renferment de très fines inclusions ferrugineuses, aciculaires ou ponctuées (schillérisation), et alors ils prennent une couleur violacée ou même noire ; quant aux types mésocrates ils sont toujours de couleur foncée.

Le minéral coloré prédominant est l'augite, présentant souvent les inclusions, l'aspect bronzé et les plans de séparation caractéristiques du diallage ; il existe fréquemment en outre un peu de biotite, de l'amphibole brune et surtout de l'hypersthène ou de l'olivine, enfin, et d'une façon constante, des fers titanés (crichtonite et association microperthitique de ce minéral avec magnétite). Je ne connais pas à Madagascar d'exemples de roches dans lesquelles l'hypersthène ne soit pas accompagné au moins d'une petite quantité de pyroxène monoclinique ; il n'y a donc pas de véritable norite, mais des passages de cette roche au gabbro.

La structure est grenue, surtout quand les gabbros constituent des massifs ou des laccolites de grandes dimensions, mais souvent et particulièrement dans les dykes les moins épais, les plagioclases s'aplatissent plus ou moins, réalisant le passage à la structure ophitique. Les roches qui présentent cette particularité de structure sont à rapprocher des gabbros hypéritiques des pétrographes scandinaves.

Je considérerai successivement les gabbros dont les minéraux colorés sont uniquement des pyroxènes, puis ceux qui renferment en outre de l'olivine, sans m'attarder longuement sur ces roches, qui, à Madagascar, ne présentent pas de particularités spéciales.

Gabbros à augite, avec ou sans hypersthène — Parmi les gabbros dont les feldspaths sont schillérisés, je citerai les gisements suivants :

Le long de l'Iangadatraka au Sud de Miandrarivo (feldspaths aplatis, un peu de biotite) ; Tsarafaritra, aux sources de l'Amby (affluent de l'Ingalana) ; dans la même région, entre l'Ingalana et la Sahasarotra, un gabbro riche en hypersthène, avec un peu de biotite, renferme de grandes plages de labrador qui englobent pœcilitiquement les minéraux colorés, mais, fait fort rare dans un gabbro de cette structure, le feldspath est, sur ses bords, associé graphiquement à du quartz.

Au Sud du pic Mahasoa, dans la région des Vavavato, un gabbro hypéritique est remarquable par les phénomènes mécaniques qui ont tordu son labrador et granulé une partie de son pyroxène, associé à de la hornblende et de la biotite.

Parmi les gabbros dont le feldspath n'est pas schillérisé, je peux citer les gisements suivants : Sur la rive orientale du lac Alaotra, à un kilomètre au Nord d'Ambodimanga, une petite colline est constituée par un gabbro très feldspathique dans lequel le diallage est cerclé d'une hornblende d'un brun jaune ; cette roche très leucocrate est associée à un gabbro mélanocrate fort riche en olivine. Au Nord du même lac, à Amboavory, se trouve un gabbro riche en éléments colorés,

dans lequel de grands cristaux allongés d'hypersthène sont entourés par des grains d'augite et de hornblende ; le labrador est en partie pœcilitique par rapport aux minéraux colorés.

A Migiko, sur la rive droite du Sambirano, un gabbro-norite très riche en hypersthène bronzé renferme de la hornblende verte et de la biotite.

Ce type de gabbro présente des variétés pegmatiques ; il en existe en particulier des cas au pied du Bongolava près de Manandaza, sur la route d'Ankavandra ; M. Huré, en effet, y a recueilli des fragments de diallage mesurant 6 centimètres de longueur ; les échantillons qu'il m'a remis sont associés à un peu d'ilménite et fort peu de labrador. L'ilménite (crichtonite), en cristaux aplatis suivant la base, est parfois englobée dans le diallage, constituant avec elle une sorte de pegmatite graphique qui rappelle celle que j'ai jadis signalée dans le diopside de la brèche de kimberlite de Monastery (Afrique australe)[1].

Gabbros à olivine. — Dans ces roches, l'olivine existe en quantité variable ; elle devient parfois très abondante ; l'hypersthène est moins fréquent que dans les types sans péridot ; il existe parfois un peu de biotite et plus rarement de hornblende.

Très fréquemment à Madagascar, l'olivine est entourée, à son contact avec les feldspaths, par une double zone incolore à l'intérieur (hypersthène), verte à l'extérieur (hornblende), qui présente toutes les particularités, depuis longtemps décrites dans les gabbros similaires de Scandinavie, du Pallet en Vendée, etc. Le type hypéritique est très fréquent ; il n'est pas rare d'y constater que l'olivine est ophitique par rapport aux plagioclases, aussi bien que le pyroxène.

Voici quelques exemples typiques : Sahanamalona près Ampanompia : région du lac Alaotra, notamment dans sa portion Nord-Ouest (5 kilomètres Sud-Est d'Amboavory) et, sur son bord oriental (hypersthène), Andreba ; falaises du Bongolava près de Manandaza (le labrador est schillérisé par de la magnétite ou de très petits grains de pyroxène) ; vallée de la Kigioly, affluent de gauche de la Mania ; 10 kilomètres Ouest de Soavinandriana (hornblende) ; environs de Malamavato sur la Rienana (à l'Est du mont Andringitra) ; mont Ambohibetratra (roche à grands éléments avec feldspaths aplatis).

Quelques-uns de ces gabbros présentent des particularités spéciales. L'un d'eux, se trouvant à 25 kilomètres à l'Ouest de Soavinandriana, renferme beaucoup de spinelle vert dans les couronnes entourant l'olivine ; le même minéral, intimement associé à la magnétite, abonde dans certains gabbros de la région de Manandaza.

1. *Bull. Soc. Minér.*, t. XXI, 1898, p. 21.

Des gabbros d'Ambohimizana (45 kilomètres Ouest de Soavinandriana), de Manjaka, de l'Est du lac Anosy (*analyse* **79**) et du Nord-Est du même lac (filon de 3 mètres d'épaisseur), d'Ambatomainty près du lac Alaotra sont à grands éléments ; leur feldspath schillérisé est violacé, il existe de l'hypersthène qui peut prédominer sur le diallage, alors qu'ailleurs l'olivine est plus abondante que les pyroxènes : la roche passe ainsi à la troctolite. Tel est aussi le cas d'un gabbro très leucocrate d'Ankaramainty à l'Est d'Ambohimasina (Vavavato).

Au Sud du mont Tsaratanana, sur la Sahanamalona, près d'Ampanompia, un gabbro à labrador schillérisé, gris de fumée, contient de la biotite, de la hornblende brune et beaucoup d'apatite en grandes plages irrégulières.

Différenciations basiques.

Quelques-uns des massifs de gabbros à olivine malgaches présentent des phénomènes de différenciation basique très remarquables ; j'ai signalé plus haut le cas de ceux du lac Alaotra ; tel est aussi celui du gabbro qui constitue un massif elliptique dans la moyenne vallée de l'Itsindra, affluent de gauche de la Mania ; la structure grenue y oscille localement vers la structure ophitique, mais avec faible aplatissement des feldspaths. De grandes variations existent entre des types assez feldspathiques, dans lesquels l'olivine et l'hypersthène sont accompagnés d'un peu de hornblende brune et de biotite et d'autres, très mélanocrates (amont d'Andohatsindra), fort riches en minéraux ferromagnésiens. Cette différence de composition n'apparaît pas par le simple examen à l'œil nu ; les types riches en labrador étant aussi noirs que ceux pauvres en feldspath par suite de l'existence, dans le plagioclase, d'inclusions ferrugineuses si fines qu'elles se résolvent avec peine au microscope en petits grains opaques. Il existe aussi des pyroxénolites associées à des variétés pegmatiques de gabbros dépourvus d'olivine (aval d'Andohatsindra) et enfin des péridotites (wehrlites). Il faut signaler encore des variétés (ouralitisées) dépourvues d'olivine, mais riches en biotite. Les relations de position de ces divers types lithologiques restent à établir. Des déformations mécaniques s'observent, çà et là, mais elles sont limitées à la torsion et à la rupture des cristaux de feldspaths et de pyroxènes ; ces gabbros sont traversés par des filons d'aplites, de diorites micacées leucocrates et enfin de syénites néphéliniques.

Ce massif de gabbro paraît se prolonger au delà de la Mania, car sur la rive droite de cette rivière, vis-à-vis son confluent avec l'Itsindra, se trouve un gabbro à olivine renfermant en abondance des lames de biotite de plus de 1 centimètre qui englobent pœcilitiquement tous les autres minéraux ; une roche analogue,

mais avec cristaux de biotite plus petits, a été observée dans le voisinage sur la rive gauche de la Manandona. Enfin, à l'Ouest de cette région, sur la rive gauche de l'Isakely (Est de Laondany), M. Perrier de la Bathie a échantillonné un gabbro à labrador, un peu rosé, dont l'olivine est entourée par de belles couronnes riches en hypersthène ; ce gabbro, qui paraît constituer un massif important, renferme des facies de variation très pyroxéniques et des passages à des amphibolites feldspathiques.

Ségrégations ferrugineuses. — En outre des phénomènes de différenciation qui viennent d'être décrits et qui fournissent des roches silicatées de diverses compositions, tous les types de gabbros qui ont été étudiés plus haut renferment, à l'occasion, des ségrégations de minerais qui ne sont pas suffisamment continues pour former de véritables roches, mais aux affleurements latéritisés, elles se concentrent à l'état de blocs de dimensions assez grandes disséminés dans la terre rouge. Tel est, en particulier, le cas de la magnétite existant dans la région de gabbros de l'Itsindra et surtout celui des fers titanés de la vallée de la Vangoa, affluent du Mahajilo. On a vu à la page 267 du tome I que ces fers titanés, qui constituent un véritable minerai, ont une composition complexe, qu'ils résultent du mélange de crichtonite et de groupements perthitiques, à structure octaédrique, de ce minéral et de magnétite.

γ. **Filons à facies diabasique.** — On a vu dans le chapitre II du tome I, que l'une des caractéristiques géologiques d'une vaste portion de la côte Est de l'île, entre l'Océan Indien et la grande falaise, réside dans l'existence d'innombrables filons de roches à facies diabasique : ils n'ont pas échappé à l'observation des Malgaches qui les désignent sous le nom de *vatovy* (pierre de fer), de *vatomamba* (pierre des crocodiles).

L'examen microscopique fait voir que tandis que beaucoup de ces roches, et particulièrement dans certaines régions, sont profondément ouralitisées et passent à des roches amphiboliques rubanées ou schisteuses, d'autres, au contraire, sont d'une fraîcheur si grande [1] que l'on a quelque peine à les distinguer des laves basiques de la région d'Antalaha par exemple et aussi de celles de la côte Sud, si tant est qu'il soit légitime de les distinguer au point de vue de leur origine. J'ai montré plus haut que, dans l'état actuel de nos connaissances, il est impossible de discuter avec fruit cette question, aussi me placerai-je ici sur un terrain strictement lithologique.

1. Dans la forêt de l'Est, tous les affleurements sont transformés en latérite gibbsitique poreuse, jaunâtre, sous laquelle la roche intacte, extraordinairement tenace, apparaît sans stade d'altération intermédiaire.

Des filons du même genre ne sont pas absents des autres régions du Massif cristallin, mais, tout au moins d'après les renseignements que j'ai pu recueillir jusqu'ici, ils me paraissent y être exceptionnels ; en tous cas, ils ne se distinguent pas minéralogiquement des roches précédentes.

L'examen microscopique et chimique de l'ensemble de ces roches montre qu'elles sont caractérisées par la présence de plagioclases du groupe du labrador et qu'elles appartiennent par suite à la famille des gabbros, à l'exception de celles qui ont été décrites pages 242 et 400. On y rencontre la plupart des particularités minéralogiques qui ont été décrites plus haut dans les gabbros. Elles renferment un pyroxène monoclinique, très souvent accompagné, mais jamais complètement remplacé, par de l'hypersthène ; ce pyroxène présente la particularité d'appartenir à une augite très magnésienne du groupe de la pigeonite. Je n'y ai pas rencontré de type uniaxe ou à axes extrêmement peu écartés, comme ceux qui sont si abondants dans beaucoup d'autres pays et notamment dans la Guinée, mais, en général, l'angle 2V est plus petit que 60° et, dans les sections perpendiculaires à la bissectrice *ng*, les branches d'hyperboles ne sortent guère du champ du microscope.

Beaucoup de roches qui nous occupent contiennent de l'olivine (intacte ou transformée en bowlingite jaune très biréfringente), mais sa proportion est très variable. Je citerai à ce point de vue les régions suivantes : la région côtière au Nord de Soanierana près du confluent de la Soamalaza et du Soamianina ; la Mananjeby, en amont de Ranomafana (filons parallèles traversant le fleuve) ; Antanamalaza (20 kilomètres Est de Tananarive) et Ambohitraivo (6 kilomètres Nord de Mahitsy sur la route de Tananarive à Majunga) ; Andakana et Beparasy (vallée du Mangoro) ; pied de l'Angavo, entre Mantasoa et Lohasaha (*analyse* **73**), puis vallée de Lohasaha (près de l'Ankafina et au Nord-Est d'Anosiravo) ; Ouest d'Ambavaniasy (ancienne route de Tananarive à la côte) ; Tsitiasarika près Ambovombe (Sud-Ouest d'Ambositra) ; Ampaha, au Nord d'Antalaha (*analyse* **70**) ; Marotoka près Ambinanindrano ; Sud d'Ankavandra ; environs de Maevatanana, Savahondrano (*analyse* **68**), etc.

Par suite de l'existence d'un résidu vitreux dans les espaces intersertaux, la présence du péridot n'a pas toujours la même signification chimique que dans les gabbros ; fréquemment en effet, ainsi qu'on le verra plus loin, le calcul des analyses montre que lorsqu'il existe peu de péridot, la roche contient une petite quantité de silice libre qui, dans certains cas, peut être exprimée minéralogiquement sous forme de granite [Antanamalaza (*analyse* **72**)].

La seule différence minéralogique à signaler entre ces roches à olivine et les gabbros qui renferment le même minéral, c'est que dans les filons diabasiques les

couronnes amphiboliques ne s'observent jamais. Notons enfin, que généralement le pyroxène monoclinique ne présente pas les plans de séparation du diallage.

Au point de vue structural, les feldspaths sont toujours aplatis suivant g^1 et davantage que dans le type de gabbro dit hypéritique. Ils renferment parfois une fine poussière ferrugineuse (schillérisation) ; elle s'observe surtout dans les types qui, par leur structure, se rapprochent le plus des gabbros (bord du Bongolava, entre Miandrivazo et Manandaza) ; cependant cette particularité n'est pas absente de types à éléments fins présentant des passages à la structure microlitique et porphyrique (île Sainte-Marie et côte voisine, notamment au Nord d'Anove).

Les roches qui nous occupent, quelle que soit leur structure microscopique, présentent, à l'œil nu, le même aspect ; sauf d'assez rares exceptions (sur le Manambato, près Vohémar), elles sont noires et à grain fin. Au microscope, on peut constater que le type le plus fréquent est franchement ophitique ; l'augite, en grandes plages, enveloppe les grains d'olivine et un grand nombre de lames de labrador ; souvent ces plages pyroxéniques se touchent, sans laisser entre elles d'espace exclusivement feldspathique ; la roche ressemble alors au type moyen des *ophites* des Pyrénées. Dans d'autres cas, l'augite, tout en étant ophitique par rapport aux feldspaths, se trouve en gros grains accolés et non plus en grandes plages. Quant à l'hypersthène, il ne présente pas la structure ophitique ; ses cristaux, plus ou moins nets, sont enveloppés par l'augite [Andahavary près Betafo (*analyse* 76)]. Les minerais sont parfois très abondants constitués soit par des octaèdres de magnétite plus ou moins titanifère, soit par des lames de crichtonite. Ce dernier cas est réalisé par les roches dont l'analyse est donnée plus loin et dans lesquelles la teneur en TiO^2 peut dépasser 4 pour 100.

Un très grand nombre de ces roches sont holocristallines, mais beaucoup d'entre elles ont la structure intersertale, avec un léger résidu vitreux, souvent plus ou moins chloritisé ; celui-ci renferme des microlites de plagioclase plus ou moins acide, des grains, des microlites ou des cristallites d'augite. Dans une roche d'Ambohitraivo, l'olivine se trouve à deux états, en grands cristaux englobés par l'augite et aussi en cristallites groupés en grand nombre, à axes parallèles, pour former au milieu d'un verre brunâtre des squelettes de gros cristaux. Souvent il n'y a pas de relation entre la cristallinité générale de la roche et l'existence de ce résidu vitreux ; je l'ai en effet rencontré dans les roches qui, par ailleurs, étaient à très grands éléments et semblaient au premier abord absolument holocristallines[1].

Enfin, dans certains cas plus rares, la trame continue des plagioclases enche-

1. On verra plus loin que la même particularité se remarque dans les basaltes doléritiques de l'Ankarafantsika.

vêtrés est localement interrompue et ces feldspaths constituent des sortes de phénocristaux prédominants au milieu d'une pâte microlitique.

Plus fréquemment, les intervalles intersertaux sont remplis par des plagioclases acides et de l'orthose, seule ou associée en micropegmatite avec du quartz. Dans une roche du Manambato (Nord-Ouest de Vohémar), celle-ci est très abondante : cette roche n'est pas de couleur foncée, mais grise, tigrée de vert (*analyse* 47).

Enfin, il faut noter des cas dans lesquels les filons à structure diabasique sont constitués, tout au moins sur leurs bords, par une roche franchement microlitique et beaucoup plus rarement (tout à fait sur le bord) par du verre. Ce sont surtout ces variétés qu'il n'est pas possible dans le laboratoire de distinguer sûrement des roches épanchées.

L'étude de la composition chimique montre que toutes ces variétés structurales correspondent simplement à des différences dans les conditions de refroidissement du magma ; elles peuvent s'observer dans les diverses parties d'un même filon ou bien encore dans les filons voisins, mais d'épaisseur différente. Les nombreux filons qui s'observent dans les gneiss de la forêt, entre les parallèles de Tamatave et d'Andovoranto, et qui atteignent souvent plus de 20 mètres d'épaisseur sont traversés, çà et là, par des filons beaucoup plus minces et à grain plus fin.

La description sommaire qui vient d'être donnée ne relate aucun fait spécial aux roches malgaches, aussi bien ne m'étendrai-je pas davantage sur ce sujet et ne citerai-je pas toutes les localités des innombrables échantillons que j'ai examinés. Je me contenterai de donner quelques exemples typiques de chacune des structures. Je désigne sous le nom de *gabbro à facies diabasique* les types dont le grain est le plus gros et qui se rapprochent des gabbros proprement dits, pour appeler *labradorite* et *basalte à facies diabasique* les types dans lesquels la structure microlitique est caractérisée.

Type à structure ophitique franche. — Sud de Vohémar, à 7 kilomètres de la côte et d'Ampanobe ; Andranomadio sur le Bemarivo (*analyse* 71) ; Savahondano ; environs de Maevatanana (olivine) ; 5 kilomètres Nord de Fitandrano ; entre les parallèles de Tamatave et d'Andovoranto ; Andakana et Beparasy ; pied de l'Angavo ; entre Analamazaotra et Ampasimpotsy : Ampasimbe et l'Ouest de Mahela (route de Tananarive à Tamatave) (beaucoup d'hypersthène).

Type intersertal. — Entre Antongil et le Maningory ; environs de Fénérive (dans les récifs) ; Antanamalaza ; Ambohitraivo ; entre Soarano et Tsilena, sur la rive droite de l'Itomampy ; Anjahanina sur la rive droite de la Matsiatra (environ 30 kilomètres au Nord de Fianarantsoa).

Types avec micropegmatite. — Farafaty sur l'Ivoloina (15 kilomètres au Nord

de Tamatave) ; les fentes de cette roche, exploitée pour l'empierrement, sont remplies de calcite, pyrite, xylotile, quartz. Bords du Manambao, affluent de la Manandoza (elle-même affluent de l'Ivoloina) ; 1 kilomètre Nord de Manompana.

La région comprise entre le lac Alaotra et Fénérive est privilégiée pour l'étude des filons diabasiques. J'y ai recueilli des échantillons présentant toutes les particularités qui viennent d'être passées en revue (en allant de l'Ouest à l'Est : Sahatavy, Ambohibe, Ankorako, Mahanoro, Vavatenina, Tsarahonenana, Anosibe, Fotsialana, Inanatoana).

Type microlitique (*labradorite*). — Entre Ambinanimanana et Loharano entre la Matitanana et le Faraony ; filon d'Antetezantany (région de Mahanoro) ; Ambohitralika, au Nord d'Ankavandra (basalte) ; Amboanjobe (Ouest de Betafo), etc.

Filons à bords vitreux. — Près du cap Bellone (Sud d'Antseranambe) ; le centre du filon possède la structure intersertale.

Labradorites à structure diabasique. — Je désignerai sous ce nom une roche recueillie par M. Perrier de la Bathie près de Karianga, sur la rive droite de la Rienana, où elle paraît constituer un dyke ou une intrusion dans les gneiss. C'est une roche beaucoup plus feldspathique que les précédentes, dans laquelle, à l'œil nu, l'on voit de grands cristaux de feldspath d'un blanc verdâtre réunis par une masse grenue de couleur plus foncée. En réalité, il s'agit là d'une roche porphyrique dont les phénocristaux, constitués par du labrador basique (très maclé suivant la loi de l'albite et de Carlsbad et en même temps très zoné avec bordure acide) sont pressés les uns contre les autres et entourés par de gros microlites de hornblende brune automorphe, des lames de mica chloritisé, des grains de magnétite qu'enveloppe de l'andésine qui est trouble, alors que les phénocristaux sont limpides. Il faut citer encore de longues baguettes d'apatite, un peu d'épidote et de quartz secondaires. L'*analyse* 69 montre qu'il s'agit là d'une modalité structurale d'un gabbro leucocrate ; je ne doute pas qu'au point de vue géologique, il ne faille la rattacher à la série diabasique ; il ne s'agit pas là d'une roche d'épanchement.

Phénomènes de différenciation. — J'ai observé dans les roches à facies diabasique, des phénomènes de différenciation qui peuvent être considérés comme l'élargissement de celui qui donne la micropegmatite des intervalles intersertaux, mais là, le point final de la cristallisation, au lieu d'être resté sur place, a rempli les fissures de la roche principale.

J'ai rencontré dans la même région de la forêt de l'Est deux étapes du même phénomène. A l'Ouest d'Inanatoana, au milieu de la roche diabasique noire, se voient des veinules blanches de 2 centimètres d'épaisseur ; elles sont uniquement constituées par de l'oligoclase, en grands cristaux, cerclés par de la micropegma-

tite. Ces raies blanches traversant les roches diabasiques sont l'équivalent des veinules étroites d'aplite ou de pegmatite des granites.

Non loin de là, à Vavatenina se trouve, dans la même roche (renfermant de l'olivine), un véritable filon d'un microgranite calco-alcalin, à structure pegmatique, décrit page 238 ; il résulte d'une différenciation qui n'a pas été effectuée dans le dyke diabasique lui-même, comme dans le cas précédent, mais, en profondeur, et qui a donné véritablement une venue éruptive distincte.

Les *analyses* **74** et **75** données plus loin mettent en évidence la composition des deux roches. Je donne, en outre, l'analyse d'un gabbro à facies diabasique que j'ai recueilli au Bras rouge de Cilaos (Réunion) et des portions blanches diffuses, monzonitiques, qu'il renferme (*a* et *b*) ; dans ce cas, elles forment des taches, des traînées et n'offrent pas une allure filonienne. Ce phénomène de différenciation conduit à un type moins acide que celui de Vavatenina.

δ. **Microgabbros.** — Quelques filons de roches noires, soit finement grenues, soit à aspect compact, rappelant celui des basaltes, avec, dans les deux cas, quelques phénocristaux de plagioclases d'un gris noirâtre, ont été observés au milieu des gneiss ou de la série schisto-quartziteuse de quelques régions de gabbros. On doit comparer ces roches aux microdiorites décrites plus haut dont elles diffèrent par une basicité un peu plus grande et généralement par une teneur plus élevée en éléments colorés.

Au microscope, on constate que les plagioclases, constituant les phénocristaux, appartiennent à la série du labrador ; très maclés suivant les lois de l'albite, de Carlsbad et de la péricline, ils sont un peu aplatis suivant g^1 et généralement schillérisés. Ils sont enveloppés dans un mélange grenu d'andésine, de hornblende d'un vert foncé, associés à un peu de biotite, de magnétite et parfois de fort peu de quartz. Je connais cette roche entre Ambohimasina, à l'Ouest de Betafo et la rivière Inanina (filon dans le granite) ; les phénocristaux de labrador englobent quelques petites paillettes de biotite.

Dans un filon, se trouvant sous le *rova* de Betafo (décomposition par écailles concentriques), la hornblende est brune, au lieu d'être distribuée régulièrement au milieu du feldspath comme dans la roche précédente, elle est concentrée en petites taches, où elle existe à peu près seule ; à signaler de petits grains de sphène au milieu desquels se trouvent encore parfois quelques restes d'un minerai (magnétite ou ilménite) ; cette roche oscille vers une microdiorite (*analyse* **63**, p. 403). Une roche analogue, mais à grain plus fin et à aspect basaltique et un peu pyroxénique, se trouve à Ambatomanga, à l'Est du lac Alaotra et à 3 kilomètres au Nord d'Ambodimanga dans la même région : les métasilicates sont uniformément répartis. Cette roche forme des filons minces dans le gneiss.

Par leur composition et leur structure, ces roches doivent être comparées aux « gabbroporphyrites », décrites par Chelius[1], en filons dans le gabbro de Frankenstein (Odenwald), où je les ai moi-même observées jadis. Elles en diffèrent cependant par la nature de leur métasilicate qui, dans ce dernier gisement, est du diallage et non pas de l'amphibole. Une même comparaison, avec la même restriction, doit être faite avec les microgabbros, généralement dépourvus de phénocristaux, que j'ai trouvés[2] en filons dans des gabbros, eux-mêmes intrusifs au milieu des conglomérats basaltiques de la rivière du Mât, dans la vallée de Salazie, et dans celle de Cilaos à la Réunion (massif du Piton des Neiges). Les analyses *c* et *d* données plus loin montrent que, tout en présentant les mêmes caractères, ces dernières roches sont moins feldspathiques.

ε. **Composition chimique des gabbros.** — Sauf avis contraire, les analyses données ci-contre ont été effectuées par M. Raoult.

1° *Gabbros à biotite et hypersthène, à facies malgachitique,* **64**) route d'Ambositra : II(III).5.3.3(4)[2(3).1.(1)2.'3] ; **65**) II(III).5.3(4).4[2.1.'2.2(3)] ; **66**) Ivony, II(III).5.3(4).4[3.1.2.'3].

Je joins à ces analyses celle de deux *gabbros diabasiques,* l'un de couleur claire ; **67**) le Manambato, II.'5:3'.'4 (Pisani) et l'autre, de couleur foncée ; **68**) Ouest de Savahondano, II(III).(4)5.3.4[3.1.2.3(4)]. Ces gabbros se distinguent des suivants par leur teneur en chaux plus faible et par une plus grande quantité d'alcalis et particulièrement de potasse.

L'*analyse* **69** est celle de la *labradorite à facies diabasique* de Karianga, qui a une composition chimique analogue ; sa teneur plus élevée en alumine entraîne une proportion supérieure de plagioclases, II.5.'4.4.

	64	**65**	**66**	**67**	**68**	**69**
SiO^2	50,67	50,62	47,49	53,30	49,88	48,29
Al^2O^3	15,31	16,45	17,11	17,69	14,62	19,38
Fe^2O^3	4,58	2,61	4,83	3,30	4,48	3,49
FeO	6,67	7,02	6,63	5,55	8,32	5,22
MgO	5,25	6,61	4,95	4,46	2,95	4,19
CaO	7,48	9,23	9,90	6,62	8,76	10,13
Na^2O	2,84	3,04	2,80	2,66	3,13	3,08
K^2O	2,72	1,42	1,77	2,14	1,15	1,08
TiO^2	2,83	1,77	2,83	0,81	4,61	2,00
P^2O^5	0,88	0,39	0,77	0,24	0,46	0,80
H^2O +	0,32	0,37	0,35	2,71	1,32	1,48
—	0,13	0,18	0,31	0,70	0,24	0,48
	99,68	99,71	99,74	100,18	99,92	99,62
An °/₀	47	52	55	56	46	58

1. *Neues Jahrb.*, 1888, II, 67.
2. *C. Rendus*, t. CLIV, 1912, p. 630.

2° *Gabbros diabasiques*, plus ou moins quartzifères. **70**) Ampahana (Nord d'Antalaha), III.4(5).'4.4[2.1.2.3] ; **71**) Andranomadio, sur le Bemarivo, III.4(5).3(4).4[2.1.2.3] ; **72**) Antanamalaza, III.4(5).3'.4[2.1.2.3'] ; **73**) Pied de l'Angavo, III.(4)5.3(4).4[2.1.2.3] ; **74**) Vavatenina, III.5'.4.4[2.1.2.3(4)] ; **75**) veinule de *micropegmatite* dans **74**, I'.'4.(1)2.3 ; *a*) *gabbro à structure diabasique*. Bras rouge de Cilaos (Réunion), III.5.3.(3)(4) ; *b*) veinule leucocrate (*monzonite*) dans *a*), II.5.2.3 (Boiteau, *in* A. Lacroix, *C. Rendus, op. cit.*).

	70	**71**	**72**	**73**	**74**	**75**	*a*	*b*
SiO^2	49,54	49,24	48,02	48,00	47,08	72,50	47,38	58,54
Al^2O^3	10,92	11,75	10,68	11,57	14,98	13,10	11,51	16,69
Fe^2O^3	4,66	3,66	4,92	3,94	4,54	1,33	5,17	3,41
FeO	9,26	10,39	11,66	11,40	10,85	0,89	8,49	3,76
MgO	6,41	5,18	4,90	4,95	3,97	1,78	6,87	1,60
CaO	11,22	10,18	10,18	10,12	11,00	0,88	11,43	3,08
Na^2O	1,59	2,17	1,99	2,21	1,88	3,17	2,02	3,82
K^2O	0,90	0,90	1,05	0,91	0,86	4,87	1,76	6,83
TiO^2	3,62	4,99	4,41	4,57	2,40	0,67	3,65	1,34
P^2O^5	0,34	0,26	0,48	0,38	0,54	»	0,52	0,35
H^2O +	0,92	1,17	1,05	1,29	1,72	1,60 (+ et —)	0,97 (+ et —)	0,33 (+ et —)
—	0,69	0,29	0,98	0,76	0,46			
	100,07	100,18	100,32	100,10	100,28	100,79	99,77	99,75
An %	58	51	51	50	64	14	51	21

Gabbros (*diabasiques*), **76**) (à hypersthène), Andohavary, III.5.4.(4)5[(1)(2).1.2.3] ; **77**) (à olivine), Marovatana, III.5.(3)(4).(4)(5)[2.2.2.3'] ; **78**) (ouralitisé), Analaidirana, III.5.3.5.[2.2.2.'3].

3° *Gabbros à olivine et hypersthène*, **79**) (leucocrate), Lac Anosy, II.'5.4.(4)5[(1)2.1(2).2.2] ; **80**). *Gabbro à olivine* sur l'Itsindra, III.5.3(4).5[2.'2.(2)3.'3] ; **81**) *microgabbro amphibolique*, entre Ambohimasina et l'Inanina, III.5'.'4.4['2.2(3).2.(2)3]. Le gabbro du lac Anosy est à la limite des *eucrites*, celui de l'Itsindra à celle des *diorites*.

4° *Microgabbros*. — *c* et *d*) Rivière du Mat (Réunion), III.5.4.4 (Boiteau *in* A. Lacroix, *op. cit.*).

	76	**77**	**78**	**79**	**80**	**81**	*c*	*d*
SiO^2	50,26	44,44	43,36	48,94	48,36	46,94	44,73	43,28
Al^2O^3	14,47	13,62	14,18	21,37	14,83	17,36	13,30	13,58
Fe^2O^3	2,67	5,00	7,28	2,38	4,36	2,87	5,42	5,43
FeO	10,20	12,08	9,98	3,81	6,94	7,72	6,95	8,03
MgO	6,91	5,22	7,32	6,65	5,56	6,96	9,12	7,63
CaO	11,30	11,50	11,80	13,22	13,42	11,74	14,16	13,19
Na^2O	1,91	2,68	2,48	2,24	3,31	2,75	1,66	2,04
K^2O	0,43	0,61	0,18	0,42	0,28	1,35	0,60	0,66
TiO^2	1,07	2,98	2,63	0,36	2,42	1,57	2,49	3,81
P^2O^5	0,41	0,61	0,31	0,06	0,13	0,11	0,16	0,41
H^2O +	0,14	0,96	0,48	0,43	0,73	0,50	1,71 (+ et —)	1,82 (+ et —)
—	0,22	0,56	0,09	0,13	»	0,12		
	99,99	100,26	100,09	100,01	100,34	99,99	100,30	99,88
An %	65	55	57	72	47	65	66	63

Les gabbros dont les analyses viennent d'être données correspondent à des types extrêmement fréquents ; aussi me paraît-il inutile d'insister longuement sur eux et de reproduire de nombreuses analyses de comparaison ; je me contenterai de donner celles de quelques roches françaises que j'ai publiées antérieurement[1] ou que j'ai fait faire dans ce but.

Ophites (Gabbros diabasiques) des Pyrénées. — *a*) Castenerecca (Basses-Pyrénées), III.(4)5.3(4).4(5)['2.1.2'.3] ; *b*) Aucazein (Haute-Garonne), III.'5.4.4' ['2.1.2.(2)3] ; *c*) Pouzac (Hautes-Pyrénées), III.5.4.4[1(2).1.2.2'] (Pisani, *in* A. Lacroix) ; *d*) Pointe de la Batterie (Cayenne), III.(4)(5).'4.4(5) ; *e*) *Gabbros à olivine* : Tilliers (Loire-Inférieure) III.5.4.'5 ; *f*) Les Prinaux (le Pallet), III.5'.'4.4.

	a	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*
SiO^2	52,00	50,84	50,51	48,86	47,40	47,64
Al^2O^3	11,68	13,71	15,10	11,32	17,71	16,10
Fe^2O^3	3,33	3,58	2,40	5,43	1,02	0,78
FeO	9,54	7,71	7,40	10,54	5,91	7,97
MgO	6,73	6,88	8,40	6,51	10,58	9,66
CaO	9,50	12,80	11,10	11,28	12,00	11,80
Na^2O	2,55	1,95	2,26	1,90	2,92	2,62
K^2O	0,74	0,70	0,57	0,46	0,37	0,97
TiO^2	2,00	1,60	0,99	2,21	0,90	1,22
P^2O^5	0,13	0,11	tr.	0,51	0,11	tr.
H^2O +	1,76	0,19	1,30	0,89	0,62	21,07
—	0,16	0,12		0,29	0,05	0,24
	100,12	100,19	100,15[2]	100,20	100,22[3]	100,07
An °/o	48	57	55	56	63	64

b. — Troctolites et allivalites.

α. **Troctolites.** — Les gabbros dans lesquels la proportion d'olivine l'emporte sur celle des pyroxènes, c'est-à-dire les *troctolites*, sont peu abondants à Madagascar, mais les quelques cas que j'ai observés présentent des particularités intéressantes.

La butte d'Anabohitsy qui, à 4 kilomètres d'Ampanihy, se dresse au-dessus des gneiss du pays Mahafaly est formée par une roche à grands éléments qui montre, à l'œil nu, du péridot jaune rougeâtre, de la hornblende, de la biotite noire, de l'ilménite et un plagioclase gris noir. L'examen microscopique met en évidence [134] la prédominance du péridot sur l'augite un peu violacée et sur l'hypersthène,

1. A. Lacroix. La composition et le mode d'altération des ophites des Pyrénées (*C. Rendus*, t. CLXV, 1917, p. 293), et : La composition chimique du gabbro du Pallet..., *Bull. soc. franç. minér.*, t. XLI, 1918, p. 74.
2. Y compris MnO 0,12.
3. Y compris CO^2 0,62.

parfois géométriquement groupés entre eux. Le péridot très ferrifère se rapproche de la fayalite ; parfois, à son contact avec le plagioclase, il est bordé de grenat, présentant des vermiculisations dans de l'hypersthène orienté comme les grandes plages voisines du même minéral ; ces bordures kélyphitiques s'observent aussi autour de la hornblende et du mica. Le feldspath est une andésine basique oscillant vers le labrador, il présente les macles de l'albite, de Carlsbad et de Manebach. Il doit sa couleur à une quantité considérable de petits octaèdres de spinelle vert régulièrement orientés suivant la trace des macles de l'albite. Ce spinelle forme aussi de gros cristaux indépendants ; il existe un peu d'apatite et de sphène secondaire. Cette roche est une troctolite (*analyses* **82** et **83**) ; elle renferme, comme produit de différenciation, la roche que j'ai appelée anabohitsite et qui est décrite page 425.

Cette troctolite présente une légère prédominance des feldspaths sur les éléments colorés ; l'inverse a lieu pour une roche d'Ambarivondrona dans laquelle, au contraire, les éléments colorés, olivine et hornblende, l'emportent largement sur les feldspaths (*analyse* **84**) ; le feldspath virtuel est une andésine : cette roche est à rapprocher du groupe dioritique.

β. **Allivalites.** — Les allivalites diffèrent des troctolites par la nature de leur feldspath qui est une bytownite ou une anorthite et non plus un labrador.

Une roche de ce genre forme le petit massif d'Analalava, peut-être intrusif dans le granite, au Sud du Fanambana, sur la côte Nord-Est. C'est une roche grenue, blanche, tachetée de jaune ; elle est essentiellement constituée par de la bytownite et de l'olivine, avec fort peu de pyroxène ; cette allivalite est tellement identique à celle qui est intrusive dans le Trias du Fonjay que je renvoie à la description de cette roche (page 655).

γ. **Filons à facies diabasique.** — Les troctolites ont aussi leur forme diabasique, mais celle-ci présente des particularités spéciales ; le seul exemple que je connaisse se trouve à Behenjy, sur la route de Tananarive à Ambatolampy. Au milieu des gneiss s'observent de petits filons, ayant de $0^m,20$ à $0^m,40$ d'épaisseur ; la roche qui les constitue est en moyenne fort altérée et présente la décomposition en boules, à écailles concentriques. M. Perrier de la Bathie a pu toutefois en extraire quelques échantillons suffisamment frais (*analyse* 85).

C'est une roche noire, à grain fin. Au microscope, on constate une grande quantité de cristaux d'olivine, à forme nette et de gros microlites, plutôt que de gros cristaux, automorphes d'augite. Les uns et les autres sont enveloppés pœcilitiquement par des plages de labrador. Il existe quelques espaces inter-

sertaux, remplis par de fins microlites feldspathiques à faible extinction. Cette structure pœcilitique est tout à fait caractéristique des roches gabbroïques mélanocrates, et, à ce point de vue, je puis comparer la roche qui nous occupe à celle des wehrlites feldspathiques que j'ai rencontrées dans les calcaires secondaires du col d'Eret dans l'Ariège, au voisinage d'ophites plus feldspathiques que pyroxéniques et dans lesquelles l'ordre de cristallisation des minéraux est inverse[1].

δ. *Composition chimique des troctolites.* — Les analyses suivantes ont été faites par M. Raoult.

Troctolites. — **82**) Anabohitsy, 'III.5.3(4).4'[2.(4)5.2.3] (Pisani); **83**) III.5.(3)4.(4)5; **84**) Ambarivondrona, III (IV) [5.3.4] (1)2.4.1(2).2; **85**) *Troctolite à facies diabasique,* Behenjy, III.'5.3(4).4 [(1)2.3'(1)2.2]; A) *Troctolite,* Sierra Leone, III'.5.4.4(5) [1(2).'4.3.2'].

	82	83	84	85	A
SiO^2.	44,55	45,72	44,46	44,78	44,00
Al^2O^3. . . .	16,25	15,03	9,77	10,91	12,17
Fe^2O^3. . . .	1,90	3,19	2,44	4,38	3,86
FeO.	14,40	13,45	11,05	8,22	13,37
MgO.	9,43	10,19	16,81	15,32	16,44
CaO.	6,29	6,56	7,92	9,36	6,88
Na^2O.	3,29	2,88	2,08	1,82	1,73
K^2O.	1,04	0,56	1,42	1,07	0,37
TiO^2.	3,45	1,98	2,71	1,41	0,71
P^2H^5.	0,06	0,31	0,64	0,21	0,05
H^2O +. . . .	0,12 (+ et —)	0,16	0,61	1,55	0,18
—. . . .		0,11	»	0,88	0,29
	100,78	100,14	99,91	100,02[2]	100,05
An.	48	51	42	55	65

C. — *Types mélanocrates et leurs formes hétéromorphes holomélanocrates.*

a. — Gabbros et pyroxénolites.

Tandis que les gabbros leucocrates et mésocrates malgaches correspondent à des types sans grande originalité, il existe, associées à eux, des roches mélanocrates tout à fait intéressantes. Elles peuvent se rapporter aux deux groupes considérés plus haut, celui dans lequel prédominent les pyroxènes et celui dans lequel

1. M. A. Harker a fait voir que dans les allivalites de Rum, l'olivine est automorphe par rapport à l'anorthite quand elle est en excès sur ce minéral, alors que l'inverse a lieu dans les variétés les plus feldspathiques et que, pour certaines proportions, les deux minéraux ont cristallisé simultanément. *The natural history of igneous rocks,* 1909, p. 171.

2. Y compris MnO 0,11.

prédomine l'olivine. Ces roches ne sont pas toutes feldspathiques ; mais dans celles qui sont dépourvues de feldspath exprimé, la teneur en alumine, tout en étant faible, est encore suffisante pour que la proportion de feldspath virtuel mise en évidence par le calcul puisse les faire considérer comme des formes hétéromorphes de certains types feldspathiques.

1° Formes feldspathiques.

α. **Types pyroxéniques.** — *Norites et micronorites mélanocrates.* — Micronorites mélanocrates. — Les gneiss de la rive orientale du lac Alaotra, entre Ambodimanga et Ambatomanga, sont traversés par des filons atteignant un mètre d'épaisseur d'une roche à facies basaltique, mais à structure microgrenue. Elle est essentiellement constituée par de la bronzite, par de la hornblende d'un brun clair et par du spinelle vert ; ces minéraux sont pressés les uns contre les autres et, dans leurs intervalles, se trouvent des plages de bytownite frangées par des plagioclases moins basiques et englobant des cristallites de pyroxène.

La composition virtuelle, déduite de l'*analyse* **86** est fort différente de la composition réelle, puisqu'elle ne comporte que du plagioclase en proportion très supérieure à la quantité réelle (49 pour 100), de l'olivine (36 pour 100), un peu de métasilicate de chaux (10 pour 100) et de magnétite (4,5 pour 100). Dans la réalité, une partie de l'alumine est exprimée minéralogiquement sous la forme de spinelle, au lieu d'être feldspathisée ; d'autre part l'amphibole est alumineuse (d'où excès d'alumine calculée) et en outre très basique, ce qui explique que la bronzite n'apparaît pas dans le calcul et y est remplacée par de l'olivine. Ce défaut de concordance entre la composition virtuelle et la composition réelle est du même ordre que celui qui caractérise les ariégites des Pyrénées[1].

Norite mélanocrate. — Dans le bassin de l'Andrantsay, au voisinage de Betafo, il existe un très grand nombre de dykes de roches gabbroïques plus ou moins riches en hypersthène et souvent peu ou pas feldspathiques.

A Ambohimasina, l'une de ces roches est brune, assez dense, ne laissant voir à l'œil nu que de l'hypersthène. Au microscope, les cristaux de ce minéral, un peu allongés suivant l'axe vertical, apparaissent cerclés d'augite et associés à quelques paillettes de biotite. Serrés les uns contre les autres, ils sont réunis par des cristaux très aplatis, sorte de grands microlites, d'un plagioclase acide renfermant de très fines inclusions brunâtres ; il existe aussi un peu de quartz et de rutile. L'augite doit être assez alumineuse, car le feldspath déduit de l'analyse renferme 41 pour 100 d'anorthite

1. A. Lacroix. Les Roches basiques accompagnant les lherzolites et les ophites des Pyrénées. *C. Rendus du Congrès géol. intern.*, 1900-(1901), p. 1-33.

(andésine), alors que le plagioclase constaté appartient au groupe de l'oligoclase.

Il faut comparer à cette roche la norite intrusive qui se rencontre entre l'Ingalana et la Sahasarotra ; elle est un peu moins mélanocrate, mais elle renferme davantage de quartz ; sa structure est celle des gabbros normaux.

Analyses : **86**) *Micronorite* d'Ambodimanga, III.5.(3)4.(3)4 [1'.4.(1)2.'2]. Il est intéressant de comparer à cette roche quelques norites ou gabbros à olivine et hypersthène. *Norites*; *a*) d'Arvieu (Aveyron), III'.'5.4'.4(5) (M. Raoult, *in* A. Lacroix. *C. Rendus*, CLIV, 1917, p. 969) ; *Gabbros* ; *b*) kilomètre 10,5 du chemin de fer de Konakry au Niger, III(IV).5.'4.4[1',2.'2.2] et *c*) Sokotoro (Guinée), III.5.4.4' [2.4.1.2], par Boiteau, *in* A. Lacroix (*Nouv. Arch. Muséum*, t. III, 1911, p. 114).

Norites mélanocrates, **87**) Ambohimasina, III ['5.3.'4]1'.1.'2.2. (M. Raoult) ; **88**) entre l'Ingalana et la Sahasarotra, III(IV) [(4)(5).3.4](1)(2).1.2.2'.

	86	*a*	*b*	*c*	**87**	**88**
SiO^2.. . .	47,50	51,38	50,20	46,75	53,48	53,88
Al^2O^3. . .	13,30	13,07	10,71	16,05	6,47	8,44
Fe^2O^3. . .	1,61	4,46	2,55	1,10	2,74	2,58
FeO.. . .	7,85	6,17	6,60	7,53	8,76	8,76
MgO. . .	15,60	17,31	16,20	17,20	16,23	10,47
CaO.. . .	9,71	5,56	10,10	9,15	6,97	10,58
Na^2O. . .	2,02	1,06	1,71	1,54	1,50	1,91
K^2O.. . .	1,80	0,21	0,71	0,45	0,97	0,88
Ti^2O.. . .	1,07	0,60	0,71	0,20	1,20	2,11
P^2O^5.. . .	tr.	tr.	0,09	0,11	0,58	0,07
H^2O +.. .	0,28	0,36	0,60	0,27	0,79	0,38
—.. .					0,09	0,08
	100,74	100,34[1]	100,45[2]	100,40[3]	99,78	100,14
An %. . .	64	72	58	74	41	41

Gabbros noritiques mélanocrates. — Un filon se trouvant dans la même région que le précédent est en contact avec la pegmatite à béryl de Tsaramanga, au Nord du mont Tongafeno. C'est une roche noire, très dense, en voie de transformation en une amphibolite dont l'étude sera faite plus loin. Au microscope, on constate que les cristaux d'hypersthène, à très fines inclusions violacées ferrugineuses, sont accompagnés par beaucoup de diallage, plus ou moins ouralitisé ; dans plusieurs échantillons, il existe une amphibole d'un brun clair dont les grandes plages englobent pœcilitiquement les pyroxènes ; ceux-ci sont enveloppés eux-mêmes pœcilitiquement dans des plages plus grandes de bytownite, riches en inclusions ferrugineuses (*analyse* **89**).

Une roche analogue se rencontre sur les rives de l'Inonkony, à l'Ouest du

1. Y compris MnO 0,16.
2. Y compris MnO 0,18 ; Cr^2O^3 0,09.
3. Y compris Cr^2O^3 0,05.

mont Lavavato, puis à Amboavory, au Nord du lac Alaotra (*analyse* **91**). On peut leur comparer encore un gabbro à gros grain, traversant les gneiss à l'Est de Bealanana ; son hypersthène, riche en inclusions ferrugineuses, prédomine sur le diallage qui possède le même type d'inclusions, mais en moindre abondance ; ce pyroxène est imprégné par une hornblende brune ; là encore, un peu de bytownite, très finement schillérisée, englobe les minéraux colorés.

β. **Types péridotiques.** — Enfin, je rapporte au même groupe une roche qui lui est apparentée au point de vue chimique (*analyse* **90**), mais qui en diffère essentiellement au point de vue minéralogique par la présence de l'olivine ; elle est associée à des gabbros leucocrates, à 1 kilomètre au Nord d'Ambodimanga (Est du lac Alaotra). Dans ce dernier gisement de gros cristaux jaunes d'olivine sont visibles à l'œil nu ; l'amphibole, qui forme une couronne extérieure à ce péridot, est d'un vert clair ; elle est associée à du spinelle de même couleur (kélyphite). Le diallage, possédant des macles et des plans de séparation suivant p, constitue avec l'hypersthène des associations microperthitiques vermiculées, fort analogues à celles que j'ai décrites dans les gabbros à hypersthène de la Guinée, où elles sont extrêmement fréquentes, alors que je n'en connais que ce seul exemple à Madagascar. Un type encore plus riche en péridot (*analyse* **92**) et établissant le passage aux troctolites mélanocrates se trouve à Malamavato, sur la Rienana ; c'est une roche à grain moyen, noire, tachetée de blanc, dont le diallage renferme de fines inclusions ferrugineuses et dont l'olivine moule en partie les grains de bytownite.

Je donne ci-contre les analyses (M. Raoult) des *gabbros hypersthéniques mélanocrates* : **89**) de Tongafeno, IV[5.5.4]1'.1.2.2 ; **90**) d'Ambodimanga, IV[5.(3)4.4]1(2).2.2.'2 ; **91**) d'Amboavory 'IV [4(5).(3)(4).(4)5]2.1.2.2 ; *a*) du Col de Lurdé (Basses-Pyrénées) (ophite à olivine) (Raoult, A. Lacroix, *C. Rendus*, CLIV, 1917, p. 969), 'IV [5.4.4]1(2).1(2),2.2 ; **92**) Malamavato (III)IV[5(4)(5).'5]1(2).2(3).2.2.

	89	**90**	**91**	*a*	**92**
SiO^2. . . .	48,93	47,22	49,22	48,54	45,44
Al^2O^3. . . .	8,79	7,08	8,14	9,53	11,37
Fe^2O^3. . . .	3,35	4,78	8,94	3,83	3,39
FeO. . . .	7,33	7,61	5,58	7,84	7,97
MgO. . . .	16,12	18,61	13,51	13,71	14,49
CaO. . . .	13,46	11,74	10,46	11,90	14,64
Na^2O. . . .	0,48	1,19	1,74	1,28	0,82
K^2O. . . .	0,20	0,37	0,31	0,70	0,15
TiO^2. . . .	0,59	1,01	1,97	1,00	0,78
P^2O^5. . . .	0,11	0,18	0,06	0,13	0,04
H^2O +. . .	0,79	0,36	0,14	1,42	0,89
—. . .	0,14	0,46	0,24	0,13	0,14
	100,29	100,61	100,31	100,01	100,12
An %. . . .	86	57	49	55	80

2° Formes non feldspathiques (pyroxénolites).

Diallagites. — Le mont Ankitsika, à l'extrémité Nord-Nord-Ouest du lac Alaotra est essentiellement constitué par une superbe roche à grands éléments, dans laquelle on ne distingue à l'œil nu que de grandes lames de pyroxène nacré, à éclat bronzé ; c'est elle que Baron a signalée [110] sous le nom d'*hypersthen-rock*. En réalité, l'examen microscopique montre que la roche est essentiellement constituée par du diallage, riche en larges inclusions ferrugineuses violacées, avec un peu de magnétite titanifère et, çà et là, quelques plages d'hypersthène et de plagioclases basiques. Quand ce dernier devient plus abondant, la roche passe à un gabbro mélanocrate, mais, d'après tous les échantillons que j'ai recueillis dans cette montagne que j'ai explorée avec grand soin, la diallagite paraît être le type dominant de beaucoup. Elle est traversée par de petits filons de pegmatite à biotite et se transforme localement en une amphibolite verte qui sera décrite page 452.

L'*analyse* **93**, due à M. Boiteau IV.[6.(4)5.(4)5]1.(1)2.2.2, est intéressante à comparer à celle des pyroxénolites étudiées dans le paragraphe précédent. On voit que cette diallagite offre une très grande analogie chimique avec ces roches, dont elle constitue une variété diallagique à peu près dépourvue de feldspath : le diallage est à la fois très magnésien, ferrugineux et assez alumineux.

	93
SiO^2	48,40
Al^2O^3	8,66
Fe^2O^3	0,95
FeO	10,12
MgO	14,59
CaO	14,69
Na^2O	0,54
K^2O	0,14
TiO^2	1,60
P^2O^5	0,07
H^2O +	0,31
—	0,13
	100,20

Une roche analogue à celle du mont Ankitsika, mais plus riche en hypersthène, se trouve un peu au Nord d'Ambohibolona, sur le chemin d'Andilamena à Imerimandroso.

Je dois au lieutenant Decary une roche sur le gisement de laquelle je n'ai pas de renseignements, mais qui me paraît devoir être placée ici. Elle est associée à un gneiss à graphite très altéré à Befotaka, sur les berges du Manambovo. Elle est

constituée par du diallage, présentant de très nombreuses macles suivant h^1, mais dépourvu d'inclusions ferrugineuses. Ce pyroxène est moulé par de la hornblende brune.

β. **Anabohitsite.** — Le massif de troctolite d'Anabohitsy (Mahafaly) (page 418), renferme à sa périphérie une roche très pesante, dans laquelle beaucoup d'ilménite brille sur le fond noir un peu terne des silicates de même couleur.

L'examen microscopique montre que cette roche, à structure grenue, est formée par de l'olivine, de l'augite, de l'hypersthène, de la hornblende, avec près de 30 pour 100 d'ilménite et de magnétite. C'est cette grande abondance de minerais ferrugineux et titanifères qui distingue cette roche de toutes les pyroxénolites connues et qui me paraît légitimer le nom spécial que je lui ai donné [142]; les silicates sont en moyenne de formation contemporaine, l'olivine a cependant une tendance à prendre des formes géométriques, indiquant qu'au moins en partie, elle a dû cristalliser avant les pyroxènes. Les minerais constituent soit des grains, soit des plages moulant les silicates, comme dans la koswite (structure sidéronitique).

Je rapproche de ce type une roche un peu feldspathique et très péridotique constituant l'un des termes de différenciation basique des gabbros à olivine de la vallée de l'Itsindra, en aval d'Andohatsindra.

Voici les analyses de ces roches : **94**) Anabohitsy IV[5.4'.2]'3.2.1.3 ; **95**) aval d'Andohatsindra IV[(5)6.3(4).4(5)(2)3.'4.1(2).3 (M. Raoult) :

	94	95
SiO^2	35,80	31,02
Al^2O^3	7,10	5,78
Fe^2O^3	7,72	11,00
FeO	20,78	23,27
MgO	12,12	11,48
CaO	4,60	6,72
Na^2O	0,16	1,21
K^2O	0,81	0,29
TiO^2	10,00	6,85
P^2O^5	0,19	0,59
H^2O +	0,53	1,72
—	0,22	0,28
	100,03	100,21

γ. **Pyroxénolite augitique.** — Le massif de gabbros à olivine de la vallée de l'Itsindra renferme une roche à grain fin presque entièrement constituée par une augite un peu violacée, très dispersive ; cette pyroxénolite est associée, en aval d'Andohat-

sindra, à des veines de gabbros peu feldspathiques à très grands éléments. J'ignore s'il s'agit là d'un filon spécial ou bien d'un facies de variation du gabbro.

L'*analyse* **96** (M. Raoult) montre que cette roche constitue un terme de différenciation extrêmement calcique de ceux-ci ; elle se distingue par suite des types magnésiens qui se rencontrent dans la même région et qui vont être décrits plus loin. Cette analyse : IV[5.5.5](1) (2).2.3.2, doit être comparée à celle des roches qui s'en rapprochent le plus, des *jacupirangites, a*) de Magnet Cove (Arkansas), IV.2.2.'3.2 et *b*) de Sao Paulo (Brésil), IV.2.(1)2.'3.2, par M. H. Washington (*J. of Geol.*, t. IX, 1901, p. 620).

La différence essentielle tient à une richesse plus grande en silice, moindre en titane et en fer de la roche malgache : les ressemblances consistent dans l'abondance de la chaux et de la magnésie et dans la pauvreté en silice. Il ne me semble pas possible de donner le même nom à ces roches qui se trouvent dans des conditions magmatiques trop différentes, les jacupirangites étant les termes extrêmes de différenciation des magmas alcalins, alors que la roche de l'Itsindra joue le même rôle dans une série calco-alcaline typique.

J'ai observé une roche analogue, provenant du massif de gabbro à olivine de l'Isakely et une autre des environs de Midongy ; dans cette dernière localité, l'augite est très violacée en lames minces et par suite titanifère ; elle se transforme sur les bords en amphibole verte.

	96	*a*	*b*
SiO^2	44,24	38,39	38,38
Al^2O^3	8,37	7,05	6,15
Fe^2O^3	4,64	9,07	11,70
FeO	5,14	6,17	8,14
MgO	9,72	11,58	11,47
CaO	26,00	19,01	18,60
Na^2O	0,23	0,74	0,78
K^2O	tr.	0,75	0,13
TiO^2	1,63	4,54	4,32
P^2O^5	0,04	0,82	0,17
H^2O +	0,14	0,33	0,54
—	»	0,14	0,18
	100,15	99,57 [1]	100,72 [2]

b. — Troctolites mélanocrates et wehrlites.

Parallèment au groupe des gabbros mélanocrates à pyroxène dominant, il existe

1. Y compris MnO 0,32 ; S 0,42 ; X 0,24.
2. Y compris MnO 0,16.

à Madagascar, quelques roches gabbroïques, dans lesquelles le péridot domine sur le pyroxène. Je les considérerai ici comme des *troctolites mélanocrates,* la *wehrlite* en constitue une forme hétéromorphe dépourvue de feldspaths.

α. **Troctolites mélanocrates.** — Ces roches sont de couleur noire. Le plagioclase englobe pœcilitiquement les minéraux colorés.

A Lohasaha notamment, dans une roche en relation avec les gabbros décrits plus haut, il existe si peu de plagioclases que la roche est presque une pyroxénolite à olivine, riche en spinelle d'un vert jaunâtre ; l'olivine est entourée par des auréoles pyroxéniques et amphiboliques, très développées, qui la font même quelquefois presque disparaître. Dans ce cas, elle peut être remplacée par un agrégat grenu d'hypersthène et de hornblende brune ; ce labrador est parfois lui-même transformé en un agrégat finement grenu d'un feldspath non maclé, d'augite et de spinelle. Ces transformations préparent la production des pyroxénites feldspathiques qui seront décrites dans le chapitre des schistes cristallins.

A Ambohibato, au Nord de Moramanga, à la limite orientale de la partie lacustre du Haut Mangoro, se trouve un gabbro extrêmement mélanocrate, à grands éléments : augite vert pistache, olivine noire, un peu de hornblende et de biotite, avec fort peu de labrador, beaucoup d'apatite et de magnétite titanifère. Cette roche rappelle extérieurement la montréalite de Montréal, qui s'en distingue d'ailleurs par ses relations magmatiques, puisqu'elle constitue une forme mélanocrate de berondrite.

β: **Wehrlites.** — Aux gabbros de la vallée de l'Itsindra, est associée une wehrlite, assez fraîche, d'un noir verdâtre, montrant sur un fond mat de grandes plages de diallage brun noir de plus d'un centimètre de diamètre, parsemées de taches ternes. L'examen microscopique montre que celles-ci sont constituées par de l'olivine assez fraîche qu'enveloppe pœcilitiquement le diallage, un peu violacé en lames minces. Il existe une grande quantité d'un spinelle d'un vert clair et un peu d'amphibole verdâtre d'origine secondaire.

Une roche semblable est intercalée dans les leptynites de la rive droite de la Mahasoa (amont de Benenitra) ; elle renferme une quantité notable de hornblende brune.

Je donne comparativement en **97**) l'analyse de la *troctolite* mélanocrate de Lohasaha par Boiteau (III)IV[5.4'.(4)5]1'.(3)4.(1)2.2, en **98**) celle de la *wehrlite* de l'Itsindra (Pisani), IV[5.(3)4.4]1.(3)(4).(1)2.(1)2, et *a*) celle de la *harrisite* que j'ai trouvée à la rivière du Mat (Réunion), IV[5.5.3]1.4.1'.(1)2. (Boiteau, *in*

A. Lacroix), et en *b*) celle de la *wehrlite feldspathique* du col d'Eret[1] (Ariège), IV[6.3.4]1(2).3.2.2. (Raoult, *in* A. Lacroix) :

	97	98	*a*	*b*
SiO^2	43,90	42,70	41,68	43,04
Al^2O^3	11,26	6,70	6,28	6,53
Fe^2O^3	2,36	2,15	2,64	2,54
FeO	8,78	7,60	9,32	9,00
MgO	20,30	26,70	29,65	21,56
CaO	10,75	9,51	7,28	11,46
Na^2O	0,98	1,23	0,44	1,43
K^2O	0,24	0,53	0,46	0,61
TiO^2	0,59	1,02	0,49	2,40
P^2O^5	0,14	»	0,06	0,23
H^2O +	0,66	2,70	1,96	1,26
—	0,10			0,06
	100,06	100,84	100,26	100,12

La comparaison des *analyses* **97** et **98** montre qu'elles se distinguent essentiellement par la plus grande richesse en magnésie de **98** et par une plus grande pauvreté en alumine ; néanmoins, la proportion d'alumine et de chaux est suffisante pour donner du plagioclase virtuel et l'on peut considérer cette roche comme hétéromorphe d'un gabbro très mélanocrate.

III. — FILONS LAMPROPHYRIQUES

Une particularité de la lithologie de Madagascar doit être signalée ; elle réside dans l'extrême rareté, au moins dans l'état actuel de nos connaissances, des filons lamprophyriques ; je n'en ai moi-même observé aucun, bien que j'aie porté mon attention sur leur recherche ; peut-être en existe-t-il qui ont été plus facilement atteints par l'altération que les roches au milieu desquelles ils se trouvent. En tous cas j'appelle l'attention des observateurs futurs sur cette question. Voici les seules données que j'ai pu recueillir à cet égard.

A. — *Kersantites.*

Au Nord d'Ambatofinandrahana, les calcaires cristallins sont traversés par un

1. J'ai trouvé cette roche sous forme d'intrusion dans les calcaires secondaires du voisinage de l'Etang de Lherz, non loin d'intrusions de lherzolites et d'ophites (Les roches basiques accompagnant les lherzolites et les ophites des Pyrénées. *C. R. Congrès géol. intern.* 1900, et *C. Rendus*, t. CLXV, 1917, p. 293).

filon d'une roche grise, mouchetée de larges paillettes de biotite. Elle est à grain fin, sans que cependant il soit possible de la qualifier de porphyrique. Au microscope, l'on distingue, en outre des larges lames de biotite, des cristaux d'augite, incolores au centre, verdissant sur les bords. Ces deux minéraux existent aussi, en cristaux plus petits, associés à des grains d'orthose sodique et à un peu de plagioclase ; à signaler encore de la magnétite, de l'apatite et quelques plages de calcite.

Les travaux de recherche du minerai de cuivre d'Ambatofangehana (mine Pachoud) ont fait découvrir un filon d'une roche noire, à facies basaltique, ponctuée de petites paillettes de biotite, qui sont plus apparentes lorsque la roche se désagrège, près des affleurements, en devenant d'une couleur gris clair. L'examen microscopique montre la même structure que dans la roche précédente, mais le grain est plus fin et la roche présente nettement deux temps de cristallisation. La biotite de la pâte est accompagnée de petits grains de hornblende verdâtre, l'augite se présente en cristallites autant qu'en microlites. La biotite renferme de la brookite secondaire et des veinules de calcite traversent la roche.

L'analyse chimique montre que ces deux roches sont très analogues, mais que tandis que dans celle d'Ambatofinandrahana, la magnésie prédomine sur la chaux, l'inverse a lieu pour celle d'Ambatofangehana. La première peut être comparée, au point de vue chimique, à la *kentallenite* d'Écosse et à la *vaugnérite* de Vaugneray et à une roche d'épanchement, la *leucite-absarokite* du Yellowstone Park ; elle est plus riche en éléments colorés que la kersantite.

Quant à la seconde, elle se rapproche, au point de vue chimique, des kentallenites des Célèbes et du Japon et de la monzonite à olivine de Smålingen en Suède.

Dans tous les cas, ces deux roches, par la valeur du rapport de l'orthose au plagioclase calculé, font partie de la famille des monzonites ; leur teneur en éléments colorés les rapproche particulièrement du petit groupe de la kentallénite, plus riche en biotite et pyroxène que la kersantite de Bretagne ; néanmoins en raison de la finesse de leur grain et de leur nature filonienne, je les désignerai sous le nom de *kersantites*.

Analyses : 99) *Kersantite* du nord d'Ambatofinandrahana : III.5'.2.2(3)['2.(3)(4) 2.'2] (M. Raoult) ; *Kentallenites* : *a*) Wildcalt Gulch (Colorado), III.5.'2.2[2.3.2.2] (Steiger, *in* Washington), *Chem. Analyses Igneous rocks*, p. 555 ; *b*) Glen Shira (Argyll C°, Ecosse), III.5.3.3[1.2.2.2] ;

c) *Leucite-absarokite*, Sunlight Valley (Yellowstone Park), III.5'.2(3).3[1.4.2.2] (Stockes, *in* Hague and Jaggar, *U. S. geol. Survey Bull.*, n° 168, 1900, 97 ; *d*) *Vaugnérite*, Vaugneray (Rhône), II (III).5.3.2' (M. Raoult, *in* A. Lacroix,

Bull. soc. franç. minér., t. XL, 1917, p. 158) ; A) *Kersantite*, Hôpital Camfront (Finistère), 'III.5.3.3'[1(2).1.1.2] (M. Raoult, *in* A. Lacroix).

	99	*a*	*b*	*c*	*d*	A
SiO^2.	48,68	50,86	52,09	47,32	49,50	51,34
Al^2O^3.	12,33	11,14	11,93	11,22	16,10	14,03
Fe^2O^3. . . .	3,92	2,93	1,84	2,91	1,14	0,92
FeO.	5,39	5,21	7,11	5,81	6,04	5,60
MnO.	»	0,13	0,15	0,11	»	»
MgO.	13,24	11,26	12,48	15,96	11,01	10,02
CaO.	6,66	6,97	7,84	7,11	6,70	6,40
Na^2O.	2,26	1,73	2,04	1,88	1,55	2,41
K^2O.	4,71	5,85	3,01	3,79	4,71	2,60
TiO^2.	1,16	0,84	0,73	0,75	2,10	1,40
P^2O^5.	0,69	0,79	0,34	0,61	0,11	0,47
H^2O +. . . .	0,49	0,95 }	0,35	{ 1,71	0,89	2,75
—. . . .	0,24	0,64 }		{ 0,31	0,05	0,65
CO^2.	0,41	»	0,16	0,13	»	1,79
	100,37[1]	100,02[2]	100,24[3]	99,89[4]	100,47[5]	100,29

100) *Kersantite*, Ambatofangehana, 'III.5.3.3[2'.2.2.2] (M. Raoult) ; *Kentallenites*, *e*) Gentungen River (Célèbes), III.5(6).3'.'3 (Morley, *in* Iddings, *Igneous rocks*, t. II, 1913, p. 627) ; *f*) Ninohe-Gun (Province Mutsu, Japon), II (III). 5.'3.'3 (Yokohama, *in* Kozu, *Sc. Rep*, *Sendai Univ.*, t. II, 1914, p. 4) ; *g*) *Monzonite à olivine*, Smälingen (Suède), 'III.5'.3.3 (Schmelk, *in* Brögger).

	100	*e*	*f*	*g*
SiO^2.	46,56	45,26	51,38	50,35
Al^2O^3.	14,44	15,70	14,80	15,76
Fe^2O^3.	4,88	2,44	1,76	2,32
FeO.	5,12	6,16	7,67	7,30
MgO.	6,26	8,28	6,48	7,40
CaO.	10,88	11,95	8,15	10,12
Na^2O.	2,28	1,73	2,35	2,05
K^2O.	3,92	3,42	4,45	3,89
TiO^2.	2,81	1,66	1,54	0,30
P^2O^5.	0,96	0,90	0,63	0,39
H^2O +.	0,95	1,12 }	1,15	} 0,45
—.	0,37	0,29 }		
CO^2.	0,86	»	»	»
	100,29	99,80[6]	100,44[7]	100,68[8]

1. Y compris F 0,19.
2. Y compris ZrO^2 0,02 ; S 0,02 ; Cr^2O^3 0,11 ; Na^2O 0,04 ; BaO 0,31 ; SrO 0,22.
3. Y compris CrO^3 0,10 ; NiO 0,07.
4. Y compris BaO 0,22 ; SrO 0,05.
5. Y compris F 0,57.
6. Y compris MnO 0,34 ; ZrO^2 0,01 ; Cl 0,25 ; F 0,08 ; S 0,05 ; BaO 0,10 ; SrO 0,06.
7. Y compris MnO 0,08.
8. Y compris MnO 0,35.

Je rapproche de ces roches des échantillons moins riches en éléments colorés qui doivent peut-être être considérés comme des roches filoniennes, mais qui pourraient cependant n'être que des enclaves dans le granite.

A Ambohibary, sur le bord du sentier conduisant à Ambatofangehana j'ai rencontré, dans le granite et au voisinage des schistes micacés, une kersantite très feldspathique. Elle est essentiellement constituée par de l'andésine, un peu aplatie, en gros cristaux déchiquetés et par de la biotite dont les lames sont enveloppées par le feldspath ou moulent ce dernier. Il existe un peu de magnétite, de quartz et une proportion notable de calcite secondaire.

B. — *Antsohite.*

Je dois à Colcanap une roche formant un filon dans les gneiss, au Nord de Tsaratanana, dans le ruisseau d'Antsohy, se jetant dans la Betanantanana, affluent de gauche de la haute Mahajamba ; elle présente l'aspect extérieur d'une minette ; sur un fond gris noir, à grain fin, se détachent de nombreuses paillettes de biotite.

Au microscope, on voit que les grandes lames de ce mica, localement froissées, sont accompagnées de prismes d'apatite, renfermant des inclusions ferrugineuses concentrées dans leur partie centrale. Ces deux minéraux sont enveloppés dans un agrégat de lamelles plus petites de biotite, de baguettes de hornblende incolore en lames minces ; le tout est englobé dans les grains de quartz. Il n'existe aucun feldspath.

L'*analyse* **101** (M. Raoult) permet de discuter la composition de cette curieuse roche filonienne dont les paramètres sont ceux des kersantites décrites plus haut : III.5.3.(2)3[(1)2.1.2(3).'3].

	101
SiO^2	50,88
Al^2O^3	12,19
Fe^2O^3	3,00
FeO	8,29
MgO	6,02
CaO	12,51
Na^2O	1,37
K^2O	3,17
TiO^2	1,56
P^2O^5	0,08
H^2O +	0,83
—	0,04
	99,94

Le rapport de l'orthose au plagioclase calculé est de 0,65 ; c'est celui d'une roche monzonitique ; le plagioclase virtuel contient 60 pour 100 d'anorthite et cependant la roche ne renferme aucun feldspath ; la roche constitue donc une

forme hétéromorphe d'une kersantite du type de celle d'Ambatofangehana. Remarquons en outre que tandis que la teneur en quartz exprimé est assez élevée, le calcul met en évidence un très léger déficit de silice ; c'est donc là un nouvel exemple du cas que j'ai signalé déjà dans l'étude de la vaugnérite[1] et dans lequel la production abondante de biotite, au début de la cristallisation de la roche, laisse libre une quantité suffisamment importante de silice pour que le quartz puisse cristalliser. Cette roche quartzifère présente donc la particularité paradoxale de devoir être rangée dans une classification chimique parmi les roches dépourvues de quartz ; sa forme volcanique serait un type basaltique (absarokite).

Il n'est pas possible d'appeler kersantite cette roche sans feldspath, je la nommerai *antsohite*, du nom de son gisement.

C. — *Spessartites.*

M. Perrier de la Bathie a trouvé récemment sur les bords de l'Andrantsay, près d'Ambohimasina, à l'Ouest de Betafo, un grand nombre de filons minces traversant les gneiss et le gabbro. Ils sont constitués d'une part par des aplites et d'une autre par une roche noire ou grisâtre, sur la pâte uniforme de laquelle, se distinguent quelques baguettes de hornblende. Au microscope, on voit que celle-ci est brune, très polychroïque, maclée suivant h^1 (extinction maximun d'environ 12°) ; elle est accompagnée de phénocristaux d'augite et de magnétite. Ces minéraux sont disséminés au milieu de longs microlites d'oligoclase-andésine, à faibles angles d'extinction, en même temps que d'une grande quantité de cristallites d'augite et de microlites de hornblende, assez allongés suivant l'axe vertical ; ces derniers sont plus ou moins complètement transformés en de très petites lamelles de biotite, genre d'épigénie qui se produit aussi aux dépens des phénocristaux de hornblende.

L'absence de phénocristaux de feldspaths, la présence de la hornblende dans les deux temps de consolidation, me fait rattacher cette roche aux lamprophyres, bien que la proportion des minéraux colorés n'y soit pas considérable. L'analyse **101**bis (M. Raoult) fait voir en outre que cette roche possède un caractère andésitique [II.4(5).3.4] et je la rapporte aux *spessartites*. Je donne comme terme de comparaison l'analyse de deux roches qui ont été décrites sous ce même nom ; l'une *a* de Hutberg, près de Neurode, en Silésie (Hauser, *in* Tannhäuser, *Sitzungber. Preuss. Akad. Wissensch.*, t. II, 1900, p. 1074) ; II(III).5.3.(3)4, et l'autre *b*, de

1. La composition chimique de la vaugnérite et la position de cette roche dans la systématique. *Bull. Soc franç. Minér.*, t. XI, 1917, p. 158.

Lockes Hill, Belknap Mountains, New-Hampshire (Washington, *in* Pirrson and Washington, *Amer. J. of. Sc.*, t. XXII, 1906, p. 455). II'.5.2(3).4'.

	101bis	*a*	*b*
SiO^2	54,42	50,44	52,95
Al^2O^3	17,29	17,03	14,96
Fe^2O^3	4,97	1,50	2,44
FeO	3,91	11,02	7,03
MnO	2,69	5,01	3,86
CaO	6,94	8,28	6,76
Na^2O	3,86	3,02	4,95
K^2O	1,98	2,53	1,64
TiO^2	2,08	0,72	3,90
P^2O^5	0,64	»	0,76
H^2O +	1,32	0,32	0,55
—	0,13	»	0,09
S	»	»	»
MnO	»	0,18	»
	100,23	100,16[1]	100,05

D. — *Minettes.*

Enfin, il me reste à signaler deux roches qui me paraissent d'origine éruptive, mais qui pourraient bien avoir subi une recristallisation, au moins partielle ; elles proviennent en effet d'une région où la plupart des roches éruptives sont en voie de transformation en gneiss.

Les quartzites de la région comprise entre Amborompotsy et Volonandrongo renferment une roche très micacée ; il semble que ce soit une syénite surmicacée, fort peu quartzifère; le feldspath dominant est de l'orthose, accompagnée d'un peu d'oligoclase, de hornblende et de diopside vert. C'est dans les mêmes conditions qu'à Ambahy, se trouve une roche très micacée, mais dépourvue de schistosité, ayant la même composition, mais avec davantage de hornblende et de plagioclase. La biotite moule en partie les feldspaths.

IV. — ROCHES MAGNÉSIENNES HOLOMÉLANOCRATES.

A. — *Webstérites et Bronzitites.*

α. **Webstérites.** — Parmi les dykes de la vallée de l'Andrantsay, il s'en trouve qui diffèrent des gabbros mélanocrates par l'absence de feldspaths ; ce sont des roches à grain moyen et à structure grenue, constituées essentiellement par de la bronzite jaune brunâtre, un peu translucide, et par un pyroxène monoclinique, jaune verdâtre, qui, d'après l'analyse donnée plus loin, contient une certaine quantité d'alumine

1. Y compris ZrO^2 0,02 ; S 0,05.

et doit par conséquent être considéré comme une augite plutôt que comme un diopside. L'examen microscopique montre en outre, comme éléments accessoires très peu abondants, une amphibole d'un vert clair et du quartz remplissant de petits intervalles laissés entre eux par les pyroxènes.

Au point de vue minéralogique, cette roche est à comparer à la webstérite de Webster, que j'ai eu occasion de voir en place, au cours de mon voyage dans la Caroline du Nord, mais celle-ci s'y trouve dans des conditions géologiques différentes; elle forme des filons minces dans une dunite. Le diopside en est vert pomme et la bronzite jaune, de plus, elle est friable, tandis que la roche malgache, de couleur uniformément jaune brunâtre, est très tenace. La webstérite, qui vient d'être décrite, forme des filons dans les quartzites et micaschistes de Tsahatsaha, entre la Mianjona et la Masoaramena, au Sud-Ouest de Betafo (*analyse* **102**).

Des filons d'une roche très analogue, mais plus riche en augite qu'en bronzite, se trouvent dans les mêmes conditions, au milieu des quartzites, près de la source de l'Antsatra, affluent de gauche de la Mianjona.

Une autre dont le diopside est vert et la bronzite jaune provient d'Ambatomainty, à l'Est de Fihaonana; elle m'a été communiquée par le P. Muthuon : cette roche renferme une petite quantite d'olivine et de spinelle vert.

La composition chimique **102**) (Pisani) (IV)V.1.1.2.1′ est comparée à celle (*a*) de la webstérite de Webster (Schneider, *in* G. H. Williams, *Bull.*, *U. S. Geol. Surv.*, N° 148, 1897, p. 148).

	102	*a*
SiO^2	53,50	55,14
Al^2O^3	3,42	0,66
Fe^2O^3	3,05	3,48
FeO	3,80	4,73
Mno	tr.	0,03
MgO	24,10	26,66
CaO	11,60	8,39
Na^2O	0,29	0,30
K^2O	0,20	»
TiO^2	0,03	»
P^2O^5	tr.	0,23
H^2O	0,43	0,38
	100,42	100,36[1]

β. **Bronzitites.** — Parmi des échantillons recueillis récemment par M. Perrier de la Bathie à Ampasimanana, au S. W. de Vatomandry, j'ai trouvé une roche (filon dans quartzites) constituée essentiellement par des cristaux de bronzite d'un brun jaunâtre moulés par une petite quantité de diopside. Cette roche m'a rappelé la bronzitite que j'ai vue à Webster, sous forme de taches dans la dunite.

1. Y compris Cr^2O^3 0,25; NiO 0,11.

B. — ***Péridotites (dunites, harzburgites, lherzolites) (serpentines).***

L'une des caractéristiques lithologiques des pays tropicaux, tout au moins de ceux que j'ai étudiés, réside en ce que les roches silicatées alumineuses qui ont échappé à la latéritisation sous toutes ses formes, sont remarquablement fraîches. Il ne semble pas en être de même pour les péridotites.

α. **Nodules à olivine.** — Pour trouver, en effet, à Madagascar des péridotites à l'état intact, il faut les chercher parmi les enclaves homœogènes des roches basaltoïdes récentes ou de leurs tufs. Elles s'y rencontrent souvent en très grande abondance.

A Nosy Be, et notamment aux environs d'Hellville, j'ai recueilli des types à gros grain, exclusivement ou presque exclusivement constitués par de l'olivine jaune, translucide, et par un peu de picotite. Ce sont de véritables *dunites*. Dans le massif d'Ambre, et notamment dans les tufs du lac Mahery et dans les coulées traversées par la route des placers, l'olivine est généralement associée à un peu de bronzite jaune brunâtre, à davantage de diopside chromifère d'un beau vert et et à un peu de spinelle (picotite) ; ce sont là de véritables *lherzolites*. Le même type existe aussi à l'état d'enclaves dans l'ankaratrite de la Sakamena.

Certains de ces nodules sont rubéfiés, mais le plus souvent leur fraîcheur est irréprochable.

Ces différents types de péridotites sont tellement identiques, au point de vue minéralogique, à ceux de la France centrale, qu'il m'a paru inutile de les faire analyser et je donne seulement ci-contre les analyses, inédites, de quelques nodules à olivine de la métropole qui permettront de se rendre compte de la composition chimique des roches de ce genre (analyses de M. Raoult).

A) Volcan de Briançon (Haute-Loire) V.1.4'.1.1 ; B) route de Murols à Besse (Puy-de-Dôme) ; C) Montferrier (Hérault) : TiO^2 et P^2O^5 sont absents, il existe des traces de NiO.

	A	B	C
SiO^2	42,82	43,68	43,54
Al^2O^3	1,56	2,54	3,98
Cr^2O^3	»	»	0,11
Fe^2O^3	4,05	3,86	4,57
FeO	4,44	4,53	5,01
MgO	45,04	43,08	37,96
Na^2O	0,15	0,09	tr.
CaO	1,92	2,02	4,44
Na^2O	0,11	tr.	0,37
K^2O	0,09	tr.	0,09
H^2O +	0,11	0,38	0,16
—	0,02	0,02	0,08
	100,31	100,20	100,31

Les tufs basaltiques d'Anjouan renferment des nodules formés uniquement d'olivine jaune et d'un diopside vert clair qui semble avoir recristallisé; il forme en effet de petits grains ou de petites baguettes groupées en grand nombre à axes parallèles à la façon des *chondres* des météorites. Les basaltes de la même île renferment parfois en grand nombre des nodules de ce genre.

β. **Péridotites serpentinisées.** — Dans tous les gisements en place que je connais, les péridotites sont profondément serpentinisées et souvent la transformation est complète; cependant, à Ampangabe, dans la vallée de la Jabo, affluent de la Betsiboka, à 2 kilomètres au Nord d'Ambohimanga (voir la carte à la page 275), il existe une serpentine verdâtre, sur la cassure de laquelle se distinguent parfois quelques grains de péridot intact; au microscope, ils apparaissent plus nombreux qu'on ne pouvait le supposer à la suite de l'examen à l'œil nu, fissurés et cerclés d'antigorite: ils sont accompagnés d'une amphibole, à peine verdâtre en lames minces, renfermant des inclusions ferrugineuses filiformes. Il existe aussi un peu de magnétite. Plus souvent, la décomposition est totale. Cette serpentine (structure maillée) est traversée par des veines épaisses de giobertite formée à ses dépens. Au milieu de cette serpentine se trouvent des filons de diorite quartzifère pegmatique, d'aplite oligoclasique, de quartz et aussi d'un mélange d'actinote et de biotite; dans le voisinage se trouve un granite monzonitique dont je ne connais pas les relations avec la serpentine.

Le gisement péridotique de Madagascar le plus remarquable à tous égards est celui de Valojoro, à une journée au Sud d'Ambositra. La serpentine y est généralement verdâtre, mais, par places, d'un beau jaune d'or et translucide. Sur cette pâte serpentineuse, se détachent des cristaux d'enstatite, transformés en bastite n'ayant d'ordinaire que quelques millimètres, mais atteignant exceptionnellement 5 ou 6 centimètres de longueur; ils se groupent parfois pour former des agglomérations de cristaux. Cette serpentine s'est donc produite aux dépens d'une *harzburgite*; l'examen microscopique y montre encore quelques grains de péridot intact. Elle contient aussi parfois des paillettes de clinochlore.

La roche, surtout dans la partie Nord-Ouest du gisement, est traversée par un réseau de veinules de quartz caverneux et de nouméite. Ce minéral, vert pomme, est, par places, très abondant; il imprègne alors complètement la roche qui devient un véritable minerai de nickel (voir page 70). Sur le flanc occidental de la butte, la serpentine est traversée par une veine de plus d'un mètre d'épaisseur, constituée par de longues baguettes de trémolite, en partie transformée en talc blanc nacré; à son contact, la serpentine est blanchâtre et renferme des nids de talc vert pomme.

La serpentine de Valojoro m'a paru constituer une masse intrusive au milieu

des gneiss, elle est traversée par un filon de pegmatite à albite et tourmaline dont le feldspath est coloré en vert pomme par des infiltrations nickélifères.

Une serpentine, à cassure brillante, dont la couleur varie du jaune d'or (serpentine noble) au jaune vert, se trouve dans les gneiss de la région d'Ambatondrazaka, à l'Ouest de Manakambahiny. Au microscope, sa structure se montre maillée, elle est traversée par des veinules de chrysotile, mais je n'y ai pas vu de bastite et elle me paraît provenir de la transformation d'une *dunite*; comme à Valojoro, il existe des imprégnations de nouméite sur lesquelles ont été faites des prospections (page 70).

Le mont Vohibory, dans le pays Mahafaly, renferme une serpentine jaune d'or, ou d'un vert foncé et alors localement très quartzifiée, que traversent des *filons* d'une amphibolite schisteuse (transformation granoblastique de gabbros); cette serpentine est sillonnée de veinules de chrysotile, de trémolite ferrifère, de quartz carrié et de giobertite blanche, compacte. Entre le mont Vohibory et le Vohipotsy, près d'un col faisant communiquer Hiela et Ambalatsiefa, se trouve une serpentine de *harzburgite*, à grands cristaux de bastite.

Une serpentine encore, semblable à celle du mont Vohibory, forme un petit massif au milieu de quartzites, associés à des calcaires cristallins, en amont de Benenitra, dans la chaîne de l'Ibekara, là où elle est traversée par l'Onilahy.

Enfin, je signalerai que la collection de Baron renferme un échantillon de serpentine jaune, portant l'indication « près de Majunga ». C'est un gisement à retrouver, s'il n'y a pas eu erreur d'étiquette ; je ne l'indique que sous les plus extrêmes réserves, M. Perrier de la Bathie, qui connaît bien cette région, m'ayant assuré n'avoir pas connaissance d'une roche de ce genre.

C. — *Roche à spinelle et corindon.*

Ce n'est pas sans réserves que je place ici la description d'une roche très alumineuse, qui m'a été communiquée par M. Michaut; elle se trouve en place à un kilomètre environ à l'Est d'Antohidrano, sur la Sahanangary, affluent de droite de l'Ivoloina, elle y formerait une petite colline[1].

Extrêmement tenace, cette roche est à éléments de plusieurs centimètres de diamètre ; elle est constituée par des grains de spinelle d'un vert noir, associés à de grandes lames vertes de clinochlore, avec, clairsemés, des cristaux indistincts comme forme, de corindon gris, tacheté de bleu. L'examen microscopique montre,

1. Cette roche se trouve près de la corindonite décrite page 462 ; elle ne paraît pas provenir du même type de gisement.

en outre, de la tourmaline magnésienne d'un brun très foncé, peu polychroïque, en cristaux, à section hexagonale, très aplatis suivant la base, de telle sorte que leurs coupes transversales ont la forme de baguettes dont le maximum d'absorption a lieu parallèlement à leur pseudo-allongement.

Certains échantillons recueillis aux affleurements sont caverneux et rouillés, par suite de la décomposition d'un peu de pyrite; leurs cavités sont tapissées de fort petits cristaux d'hydrargillite qui font penser à l'existence antérieure d'un feldspath actuellement disparu.

J'ai désigné cette roche, page 253 du tome I, sous le nom de *pléonastite*, depuis lors, mon préparateur, M. Orcel, a pu en extraire le spinelle et en faire l'analyse; il a constaté qu'il s'agit là d'un type intermédiaire entre le pléonaste et la *hercynite*.

Je n'ai pu obtenir jusqu'ici aucun échantillon des roches dans lesquelles se trouve ce curieux type lithologique. M. Michaut a su seulement par le prospecteur qui l'avait trouvé qu'il existe au voisinage une roche noire, que l'on a appelée basalte, ce qui est certainement inexact[1]; peut-être s'agit-il de serpentine et c'est ce qui m'a conduit à classer ici cette roche, au moins provisoirement, à cause de son analogie minéralogique avec celle que j'ai eu l'occasion d'observer dans la Caroline du Nord, à la bordure de massifs de dunite, à leur contact avec le gneiss ou bien en veines, en lentilles au milieu de la même péridotite. J'ai examiné particulièrement à ce point de vue la Carter's mine (Madison Co), près de Democrate (Buncomb Co), gisement qui a été décrit par M. Pratt[2]; ce savant considère cette roche comme résultant de différenciations effectuées dans le magma qui a fourni la péridotite. La veine sur laquelle une tentative d'exploitation a été faite possède une structure très régulière. Au centre, s'observe le corindon, seul ou associé au spinelle et au clinochlore, puis symétriquement se voient des bandes parallèles formées de clinochlore et de talc. A l'inverse de ce qui a lieu dans le gisement malgache, le corindon domine sur le spinelle; les éléments sont en outre de plus grandes dimensions.

1. Au moment du tirage de cette feuille, je reçois un échantillon de roche recueilli par M. Contanciel à Antohidrano près de la pléonastite; c'est un gabbro à structure diabasique.

2. Jos. Hyde Pratt and Jos. Volney Lewis. Corundum and the peridotites of Western North-Carolina. *North Carolina Geol. Survey*, Raleigh, t. I, 1905, p. 203.

CHAPITRE V

DÉFORMATIONS ET TRANSFORMATIONS DES ROCHES ÉRUPTIVES

Dans les chapitres précédents, les roches éruptives du Massif cristallin ont été considérées pour elles-mêmes, abstraction faite des phénomènes d'altération résultant de l'action de l'atmosphère et des circulations d'eau superficielle. Ce genre d'altération fera l'objet d'un chapitre spécial.

Mais il est d'autres déformations subies par les roches sous l'influence des actions orogéniques, déformations qui sont accompagnées ou non de transformations minéralogiques et qui conduisent par étapes successives à la production de *schistes cristallins*. Il semble que Madagascar soit un champ d'observation, très fécond à cet égard, malheureusement je ne puis aujourd'hui traiter cette question d'une façon suffisamment complète, les documents recueillis étant trop fragmentaires. Je crois cependant devoir leur consacrer un chapitre spécial, afin d'appeler sur elle l'attention des chercheurs qui me suivront.

Je considérerai séparément les observations concernant les granites et celles qui ont rapport aux roches basiques.

I. — FAMILLE DES GRANITES.

A. — *Déformations postérieures à la mise en place.*

a. — Déformations sans phénomènes de recristallisation.

Ces déformations de structure, sans modifications minéralogiques, sont caractéristiques de la zone tout à fait supérieure de l'écorce terrestre, là où la température et la pression sont peu élevées. Elles sont le résultat d'un dynamométa-

morphisme. Innombrables sont dans les roches anciennes de l'île les traces de ces actions que l'on ne peut voir qu'avec le secours du microscope ou qui n'apparaissent que lorsqu'elles ont affecté des minéraux en très grands cristaux, allongés, tels que le béryl et la tourmaline des pegmatites. Je les ai signalées déjà page 248 à l'occasion de ces roches et je n'y reviendrai pas.

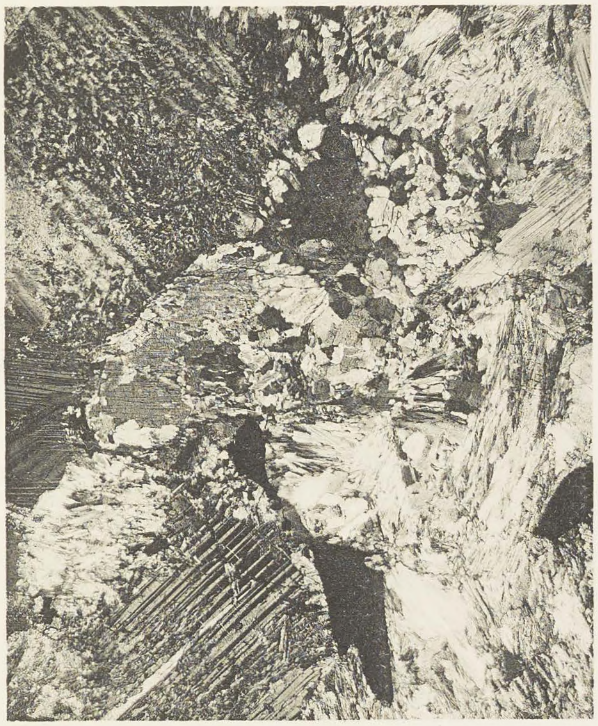
Je donnerai seulement quelques exemples des termes successifs plus évolués du même phénomène, sans insister sur ces transformations structurales qui sont banales et qui, à Madagascar, ne présentent pas de particularités spéciales.

J'ai de bonnes raisons de penser que cette question pourrait être étudiée avec fruit en particulier tout le long de la bordure du Bongolava.

α. **Phase de début.** — Le granite porphyroïde du Sud d'Ambatomainty et de divers points situés entre cette localité et Ankavandra, sur le bord du Bongolava, fournit de bons exemples du début de déformations que seul permet de constater le microscope. On observe d'abord des extinctions roulantes dans le quartz, puis des traces d'écrasement sur la périphérie des cristaux de quartz et de feldspath qui sont moulés par les petits grains de leurs débris. Généralement, aucun minéral néogène n'est reconnaissable, sauf parfois un peu de damourite, mais sur la route d'Imanombo à Ankilitelo (Androy), un granite ayant subi ce stade de déformation, renferme, par places, de très petites paillettes de biotite développées dans les cassures du quartz et du microcline; elles donnent localement à la roche un vague rubanement.

β. **Phase porphyroclastique.** — Dans la même région du Bongolava, en particulier à Besoamaty, près Beravina, et plus au Nord, dans la direction d'Ambatomainty; dans le massif des Vavavato; dans le lit de l'Imaloto, etc., l'écrasement est plus intense, le granite a pris l'apparence d'une roche porphyrique. Des cristaux brisés de microcline de toutes dimensions sont distribués dans une pâte cristalline non orientée; l'examen microscopique montre que celle-ci résulte de la trituration des éléments du granite dont les cristaux pseudo-porphyriques, *porphyroclastiques,* ne sont que des restes; les minéraux colorés (biotite, hornblende) sont écrasés et quelquefois étirés, de façon à donner des zones successives orientées dans des directions parallèles, sans que cependant cette particularité ait un retentissement sur l'aspect macroscopique de la roche. Ce sont eux qui, à l'état d'extrême division, colorent celle-ci en noir, alors qu'à l'état intact, elle est de couleur claire; des paquets de mica renferment un peu d'épidote secondaire.

Une transformation du même genre est réalisée dans les roches recueillies près



1



2



Clichés Fallou. 3



4 Imp. Catala frères. Paris.

Gabbros ouralitivés ; Ambohipaka (fig. 1) ; Mont Vohibe (fig. 2). — *Ortho-amphibolites* dérivant de gabbros ; Antoby (fig. 3) ; Mont Tsaramody (fig. 4).

A. CHALLAMEL, ÉDITEUR

d'une source thermale en amont du confluent de la Mananjeby et de l'Ankoby, puis dans un granite du Sud de Makoba, dans la haute vallée de la Sofia, au Sud d'Antsakabary.

γ. **Phase de laminage.** — Des échantillons que M. Perrier de la Bathie m'a dit avoir recueillis près de Marotseva aux sources du Manambao (entre Ambatomainty et Berevo), dans un petit îlot schisteux limité par deux collines de granite, représentent les différentes étapes d'une transformation plus intense encore que les précédentes. Ces prétendus schistes sont, en effet, des pegmatites laminées. Dans quelques échantillons, la roche initiale est encore reconnaissable, mais elle est rubanée, grâce à l'existence de plans micacés, à fins éléments, au milieu desquels se distinguent de larges lames brisées de muscovite.

Au microscope, les grands débris sont pressés les uns contre les autres et réunis par une petite quantité de ciment cataclastique ; les macles des feldspaths (microcline et albite) sont extraordinairement tordues. Les lits micacés sont formés par de très petites paillettes de muscovite, renfermant des « yeux » de feldspath et de grandes lames déchiquetées de muscovite.

Dans un second stade, la roche paraît, à l'œil nu, finement grenue ; elle renferme de gros grains de microcline, seuls témoins intacts des feldspaths originels. La structure microscopique est la même que dans le cas précédent, mais la pâte cataclastique prédominante possède un grain très variable, ici grossier, là extrêmement fin (Pl. 24, fig. 1 à 3).

Enfin, le dernier terme de la déformation est fourni par une roche ayant l'apparence d'un silex pyromaque, gris de fumée ; sur les surfaces altérées seulement apparaît une texture rubanée ; au microscope (Pl. 24, fig. 4), l'on ne voit qu'une purée extrêmement fine, à éléments indistincts, dont le rubanement est déterminé par de très fines paillettes de séricite étirées autour de quelques grains de feldspath encore reconnaissables qui ont résisté à l'écrasement ; c'est là le type de roche d'Écosse pour lequel Lapworth a créé en 1885 le terme de *mylonite*, généralisé depuis lors, à tort sans doute, et appliqué à toutes les roches déformées mécaniquement.

L'ensemble de ces transformations est trop connu maintenant dans maintes régions pour qu'il soit utile d'insister davantage ; je signalerai seulement l'analogie, dans les moindres détails, de ces roches écrasées et de celles que j'ai étudiées et décrites, il y a plus de 20 ans, au Sud d'Ax (Ariège), dans la région du lac Naguille.

De bons exemples des mêmes phénomènes, réalisés encore aux dépens de pegmatites, ne renfermant que du quartz et du feldspath, se trouvent dans l'An-

droy[1] (Tsilamaha) (roche rubanée à lits plus ou moins compacts et rougeâtres) ; Ambararata, entre Imanombo et Antanimora (pegmatites à quartz bleu) et dans d'autres régions.

Dans la ville même de Tananarive (Imarivolanitra), se trouvent, au milieu des gneiss, d'étroites zones écrasées noires compactes qui ont été jadis prises pour des filonnets de basalte.

b. — Déformations accompagnées de phénomènes de recristallisation.

Les divers types de roches déformées qui viennent d'être passés en revue peuvent servir à interpréter des roches dont j'ai recueilli de nombreuses séries permettant de suivre les phases successives de recristallisation et qui conduisent progressivement de ces granites déformés à des gneiss dans lesquels toute trace de structure antérieure a disparu. L'une des régions qui se prête le mieux à cette étude, est celle comprise entre la Mania et la Matsiatra, à l'Ouest du méridien d'Ambatofinandrahana ; les échantillons que m'a procurés M. Perrier de la Bathie ont été recueillis dans la vallée de l'Imorona, entre Ankafotra, Itorendrika et Ifasina, à Ambahy, puis entre Marovoalavo et Ambatofinandrahana et aux environs immédiats de ce village ; ils sont d'autant plus intéressants qu'ils correspondent à des types spéciaux de roches alcalines dont les caractéristiques minéralogiques et chimiques se retrouvent dans les gneiss formés à leurs dépens.

α. **Roches à texture initiale conservée.** — Entre Marovoalavo et Ambatofinandrahana, le granite monzonitique renferme de grands cristaux porphyroïdes de microcline, associés à du quartz, de l'oligoclase, à de l'amphibole et de la biotite. A l'œil nu, l'on ne voit aucun signe de déformation, mais le quartz et le microcline qui entourent les cristaux porphyroïdes ont recristallisé et ont pris en partie une structure granoblastique. La texture porphyroïde est encore distincte dans le granite alcalin à feldspath rosé des collines situées entre Itorendrika et Ifasina; au microscope, l'on constate que la structure granoblastique a envahi toute la roche, sauf les cristaux porphyroïdes de microcline, mais, localement, ceux-ci, sans avoir perdu leurs formes extérieures, sont eux-mêmes transformés en agrégats granoblastiques du même minéral.

Dans la même région, la syénite potassique désignée plus haut sous le nom de *finandranite*, présente, par places, un aspect singulier que j'ai déjà signalé page 378 ; les grands cristaux de microcline uniformément gris de fumée au

1. On verra, page 563, signalées des déformations du même ordre aux dépens des pyroxénites de la même région.

lieu d'être pressés les uns contre les autres sont tous cerclés d'une bordure blanche, qui, au microscope, se montre constituée par un agrégat de grains d'albite transparente qui résulte sans doute de la recristallisation d'une bordure cataclastique.

Phase porphyroclastique. — Cette phase est l'homologue de celle qui a été signalée plus haut, mais le ciment cataclastique a disparu et il a été remplacé par un agrégat granoblastique de feldspath et parfois de quartz néogène. Cette structure est réalisée dans les roches syénitiques à facies aplitique de la région de Bedihy, décrites page 379 et là, non seulement les feldspaths, mais encore les pyroxènes et les amphiboles sodiques ont recristallisé; il est à remarquer que dans ces roches, les métasilicates néogènes sont les mêmes que ceux qui existaient normalement dans la roche, mais ils ont pris un autre aspect (fines aiguilles de torendrikite).

Des transformations du même ordre peuvent être observées dans le granite du massif des Vavavato, à l'Ouest-Nord-Ouest de Belamosina; ce granite, très leucocrate, est transformé en une roche à facies gneissique, constituée par une masse granoblastique de quartz et de feldspaths à éléments à peine orientés, englobant de gros cristaux porphyroclastiques de microcline, qui sont bordés de grains du même minéral, incontestablement formés à ses dépens. Quand ces porphyroclastes de microcline ont entièrement disparu, ces gneiss possèdent la *structure à résidu*[1]; ils sont devenus de véritables gneiss homogènes qui seront décrits dans le chapitre des schistes cristallins.

Gneiss œillés. — Les gneiss œillés, dans lesquels de gros cristaux de feldspaths ou de quartz, plus ou moins arrondis, sont englobés dans une masse rubanée ou feuilletée, dont ils interrompent la régularité, sont une modalité spéciale du type qui vient d'être décrit, mais dans laquelle les éléments granoblastiques associés à du mica sont orientés; de bons exemples de ce cas se trouvent à l'état de blocs dans la Vatomarina, au gué du chemin d'Ambositra à Ambatofangehana; sur la Mania, à la base du Vatomavo; au mont Ambatotelomirahavavy (30 kilomètres Est de Tananarive) (variété amphibolique).

Il existe aussi des types œillés non rubanés. A l'Ouest d'Ambohimasina (région d'Inanatonana), une roche de ce genre renferme des cristaux arrondis de microcline violacé de 5 centimètres de diamètre, bordés par un agrégat granoblastique de microcline rose. On rencontre tous les intermédiaires entre le cas où le microcline ancien est seulement entouré et celui où il est

1. Cette structure à résidu est la *palimpsest structure* de Sederholm.

entièrement transformé suivant le même mode, sans que la forme extérieure des éléments anciens soit détruite. Quant au reste de la roche, il possède la structure granoblastique, avec tendance pour la biotite à former de petites lamelles déchiquetées qui moulent les grains récents limpides de feldspath. J'ai recueilli des roches analogues entre Miandrarivo et Masindray et dans la même région, à Vohibazaha.

Un type plus évolué est celui dans lequel la totalité des cristaux porphyroïdes du granite sont transformés sur place en agrégats granoblastiques, sans qu'il y ait cependant laminage ni orientation des éléments colorés de la roche : un kilomètre au Sud de Befamonty, Nord de Benenitra (roche renfermant un peu de grenat); base du mont Vatomavo.

J'ai vu de beaux exemples de ce type réalisés aux dépens d'une pegmatite, injectée dans un gneiss du mont Vohibory.

B. — ***Déformations contemporaines de la mise en place du granite.***

Les phénomènes de déformation qui viennent d'être décrits sont sans relation avec la mise en place du granite et lui sont certainement de beaucoup postérieurs. J'ai observé par contre [146], à Ambohibary, sur le chemin d'Ambatofangehana à Ambositra, un fait qui ne peut guère s'expliquer que par une déformation consécutive à la consolidation du granite.

Celui-ci forme à la surface du sol de gros blocs; l'un d'eux, ayant la forme d'un obélisque et se trouvant sur le bord du sentier, est traversé par une veine que j'ai prise tout d'abord pour un filon. D'une dizaine de centimètres d'épaisseur, elle est constituée par une roche d'un gris noir, très riche en octaèdres nets de magnétite de quelques millimètres de diamètre, et en cristaux blancs disposés parallèlement aux épontes. L'examen microscopique fait voir que ce ne sont point là des phénocristaux, mais des fragments de microcline et de quartz du granite ou même de petits fragments de cette roche, brisés et tordus. Ils sont distribués au milieu d'un agrégat microgrenu de quartz et de magnétite, avec fort peu d'un feldspath non maclé. La magnétite constitue aussi une fine poussière incluse dans le quartz. Ces deux minéraux sont donc de formation contemporaine; quant aux octaèdres de magnétite, ils moulent parfois les fragments anciens de microcline et de quartz. Il faut ajouter à cette composition des paillettes de biotite postérieures au quartz et de très nombreux cristaux de zircon.

De ces pseudo-filons, on voit partir de fines ramifications, presque capillaires, qui s'irradient dans le granite, et traversent tous les minéraux de ce dernier; elles aussi sont remplies par du quartz et de la magnétite.

Il résulte de cette description qu'il s'agit là non d'une roche filonienne, mais d'une zone de friction, probablement contemporaine de la mise en place du granite, puisque les émanations de celui-ci y ont déposé du quartz et de la magnétite.

Le granite normal n'étant pas très frais, il ne m'a pas paru opportun de le faire analyser; il correspond au granite monzonitique dont les analyses sont données page 236. L'*analyse* **103** pourra leur être comparée et l'on en tirera la conclusion que ces veinules ont subi des modifications profondes par lavage de presque tous les oxydes autres que la potasse et par apport d'une grande quantité de fer. L'état d'oxydation de celui-ci a été profondément modifié par des actions secondaires qui ont transformé en martite la plus grande partie de la magnétite.

	103
SiO^2	59,44
Al^2O^3	6,56
Fe^2O^3	22,23
FeO	3,72
MgO	0,28
CaO	0,70
Na^2O	0,58
K^2O	3,81
TiO^2	1,73
P^2O^5	0,36
H^2O +	0,32
—	0,08
	99,81

II. — FAMILLE DES GABBROS.

Une caractéristique commune aux roches basiques du Massif cristallin réside dans leur extrême fraîcheur, qui peut être souvent comparée à celle des roches post-liasiques. Cependant, dans beaucoup de régions, elles ont subi des transformations qui sont intéressantes à considérer, car, elles aussi, présentent des stades intermédiaires qui conduisent à leur transformation en schistes cristallins. La bordure du Bongolava, les alentours de l'Ankaratra, la forêt de l'Est sont les régions qui m'ont fourni les exemples les plus caractéristiques des faits qui vont être passés en revue.

A. — *Ouralitisation.*

Ce phénomène qui consiste dans la transformation du pyroxène en amphibole ne présente, à Madagascar, aucune particularité spéciale. Il est fréquemment accompagné de la transformation des fers titanés en sphène.

Dans les roches malgaches, l'ouralitisation s'effectue par les divers modes connus (Pl. 25, fig. 1 et 2) :

1° Transformation d'un seul cristal de pyroxène en un seul cristal d'amphibole, généralement verte, orienté sur lui ;

2° Transformation d'un cristal de pyroxène en un agrégat fibreux ou grenu d'amphibole, sans orientation géométrique sur le minéral originel ;

Enfin, 3° Association dans une même roche de ces deux modes de transformation.

Il est peu de massifs de gabbros normaux ou à facies diabasique dans lesquels ne se trouve au moins trace du premier type de transformation. Quelques beaux exemples peuvent cependant être cités entre mille : gabbros du Sud d'Antoby près de Miandrarivo et d'une façon générale, les gabbros et leurs formes diabasiques du Betsiriry (région de Miandrivazo en particulier) : les dykes diabasiques rencontrés à l'Est de Fénérive sur la route du lac Alaotra, ceux des routes de Tananarive à Tamatave et à Andovoranto, etc. ; Sud-Est de Tsaratanana, et Tampoketsa entre Tsaratanana et Ambatobe (entre le Bemarivo et la Mahajamba).

Il faut citer quelques cas exceptionnels ; dans un gabbro recueilli entre Miandrivazo et Manandaza, j'ai rencontré un peu de biotite associée à de l'amphibole ; la biotite est plus abondante encore dans une roche analogue d'Ambalahady, sur la rive gauche de la Mania.

Dans une diabase de Sainte-Marie, l'amphibole est parfois séparée du plagioclase schillérisé par une mince zone de grenat.

Dans un très grand nombre de gisements malgaches, l'ouralitisation est totale et l'on ne trouve plus trace de pyroxène.

Tel est le cas des gabbros à grands éléments du Betsiriry et notamment des gabbros plus ou moins pegmatiques de la rivière Telomita, à 10 kilomètres Est de Miandrivazo ; à citer encore des gabbros à grain moyen et d'autres, à facies diabasique, de la rivière Analaidirana, d'Ambatomaintikely (7 à 8 kilomètres Ouest du mont Ambohidramangoka) ; dans ces roches, le plagioclase a conservé sa belle coloration violacée qui se détache sur le vert d'herbe foncé de la hornblende.

Des roches analogues se rencontrent à Ivonana, près d'Ambatofangehana, puis sur la rive gauche de la Iazarafotsy, près Ibory, au Sud-Ouest des pegmatites d'Ambatofotsikely ; enfin, innombrables sont les gisements des filons diabasiques de la côte Est que l'on pourrait citer.

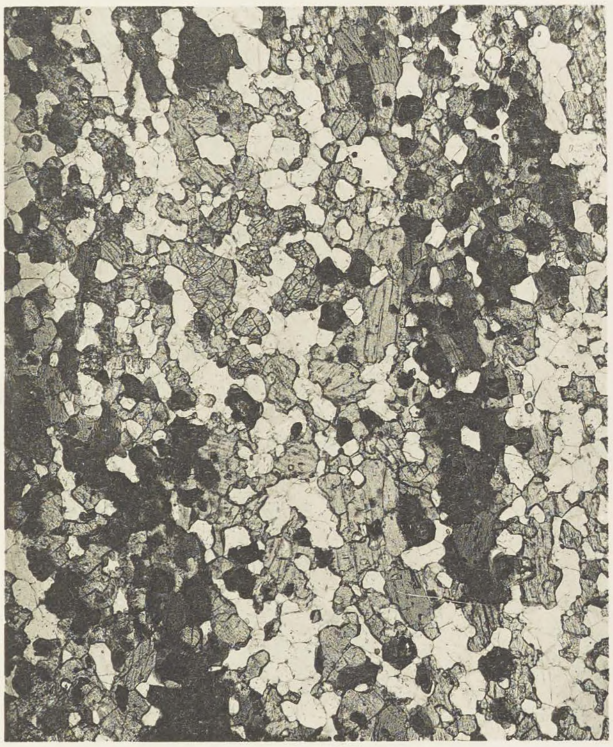
Ces phénomènes d'ouralitisation sont des transformations moléculaires, sans



1



2



Clichés Fallou. 3



4 Imp. Catala frères, Paris.

Ortho-pyroxénites feldspathiques ; Lohasaha (fig. 1 et 2) ; Tongafeno (fig. 3) ; Mont Andringitra (fig. 4).

changement notable de composition chimique globale de la roche ou tout au moins sans que les caractères chimico-minéralogiques de celle-ci soient modifiés d'une façon parfaite. On peut s'en assurer en comparant page 417 l'analyse d'un gabbro diabasique d'Analaidirana, complètement ouralitisé (*analyse* **78**), avec celle des gabbros intacts du même tableau.

B. — *Saussuritisation.*

Ce cas, si fréquent dans les gabbros des Alpes et de tant d'autres régions, est relativement peu fréquent à Madagascar. Il est caractérisé par ce que non seulement le pyroxène est ouralitisé, mais le plagioclase est plus ou moins complètement transformé en épidotes (épidote, clinozoïsite, zoïsite), avec ou sans albite, chlorite, biotite, quartz, etc. La décomposition des minéraux titanifères donne non seulement du sphène, mais souvent aussi du rutile.

Cette transformation peut se faire sans que la structure initiale de la roche cesse d'être perceptible, mais souvent on observe un enchevêtrement des produits néogènes tel qu'il n'est plus possible de reconnaître nettement la structure originelle ; c'est ce qui a lieu dans les *épidotites amphiboliques* abondantes dans le Betsiriry (région de Miandrivazo) et surtout sur la côte Est, entre Vohémar et le voisinage de l'île Sainte-Marie.

A l'inverse de ce qui a lieu pour l'ouralitisation simple, il s'agit là d'une transformation chimique, caractérisée essentiellement par l'amoindrissement de la teneur en alcalis, en magnésie et par un enrichissement en chaux. Je n'ai pu recueillir d'échantillons montrant les diverses étapes du phénomène ; je donnerai seulement deux analyses de roches entièrement transformées ; la première **104** est une roche à grain fin, recueillie à 25 kilomètres de Kiranomena ; elle est formée de clinozoïsite et de hornblende, avec du sphène et une petite quantité de magnétite non transformée. Cette roche a été un gabbro diabasique à grain fin.

La roche analysée en **105** est à très grands éléments et se rencontre à 800 mètres d'Ankarongana ; c'est un ancien gabbro, peut-être une ségrégation dans un gabbro. Elle est formée de hornblende, avec quelques restes de pyroxène, de plagioclases, de fer titané, beaucoup de sphène et de l'épidote remplaçant un feldspath peu abondant. Je donne comme comparaison deux analyses empruntées à une note, dans laquelle j'ai étudié des transformations similaires dans les ophites des

Pyrénées[1] ; *a*) *Ophite* de Pouzac (Hautes-Pyrénées) (Pisani) ; *b*) *Ophite saussuritisée* de Saint-Béat (Haute-Garonne) (Raoult).

	104	105	*a*	*b*
SiO^2	46,40	39,48	50,51	50,64
Al^2O^3	18,47	13,22	15,10	12,75
Fe^2O^3	3,63	7,05	2,40	6,07
FeO	7,05	10,02	7,40	4,70
MgO	4,62	5,97	8,40	4,93
CaO	16,80	18,58	11,10	17,60
Na^2O	0,53	1,23	2,26	0,49
K^2O	0,82	0,67	0,57	0,22
TiO^2	1,11	2,53	0,99	1,80
P^2O^5	0,09	0,38	»	0,12
H^2O +	0,25	0,20	1,30	0,86
—	0,13	0,08	»	0,09
S	»	0,38	»	»
	99,90	99,79	100,15[2]	100,27

C. — *Transformations conduisant à des schistes cristallins.*

1° — *Transformation de gabbros.*

Les transformations qui viennent d'être passées en revue ne peuvent pas être considérées comme des altérations d'origine atmosphérique. Ce sont des transformations effectuées, d'une façon plus ou moins directe, sous l'influence d'actions orogéniques ou, pour parler plus exactement, qui ont été favorisées par celles-ci, grâce auxquelles les roches qui les ont subies ont été transportées à des profondeurs où tout ou partie de leurs minéraux constitutifs n'étaient plus stables. Je me propose de m'occuper ici d'une série de transformations dans lesquelles sont visibles des traces d'actions mécaniques qui ont modifié plus ou moins profondément leur structure, avec ou sans recristallisation.

Plusieurs phases peuvent être considérées ; elles débutent parfois par des déformations mécaniques.

α. **Phase cataclastique.** — Dans un premier stade, les plages des divers minéraux ont été seulement tordues ; ce phénomène est surtout frappant, grâce à l'existence de macles polysynthétiques, à la fois très fines et très répétées, dans les plagioclases et dans le pyroxène, comme cela a lieu dans certains gabbros de

1. *C. Rendus*, t. CLXV, 1917, p. 293.
2. Y compris MnO 0,12.

l'Angavo (Mangoro), où il n'est guère douteux que ces macles ne soient d'origine secondaire ; l'étude de ces roches est rendue facile par ce fait qu'il n'existe pas d'ouralitisation.

Les labradoritites et les gabbros leucocrates des rivières Bevinda et Volovolo présentent des phénomènes de déformations mécaniques extrêmement intenses. Les grands cristaux de diallage et d'hypersthène n'offrant aucune trace de transformation minéralogique sont curieusement tordus, possèdent des macles secondaires, qui se retrouvent dans les très grands cristaux de diallage de la région de Miandrivazo (Cf. t. I, p. 507 et 511) ; en outre, les plages de labrador ont été transformées, en partie ou en totalité, en agrégats de petits grains, au milieu desquels se voient des restes déformés du minéral initial.

Les gabbros de la vallée de l'Itsindra ont leur feldspath peu apparent, à cause de sa schillérisation qui le colore en noir ; localement, il devient blanc de neige, par suite de son morcellement en petits fragments, peu déviés de leur position initiale ; à l'inverse de ce qui est constaté dans les gabbros de l'Extrême Sud, le pyroxène ici est complètement ouralitisé et dans le labrador, se développe beaucoup de zoïsite secondaire. C'est une évolution vers la saussuritisation.

β. **Phase hémiblastique.** — Dans les gabbros de la rivière Volovolo, le phénomène ne s'arrête pas à la phase d'écrasement ; les feldspaths de la structure cataclastique se transforment progressivement en gros grains à structure granoblastique. On peut distinguer aussi, au voisinage des grands cristaux tordus d'hypersthène, de petits grains du même minéral, diversement orientés, indiquant que ce pyroxène a, lui aussi, partiellement recristallisé.

J'ai recueilli sur le chemin d'Ambositra à Ambatofangehana, notamment entre Andina et Ivony, et au gué de la Vatomarina, de très nombreux échantillons de gabbros ouralitisés fort intéressants. Ces roches ne sont pas en place, mais leur abondance fait penser qu'elles ne viennent pas de loin.

On peut y reconnaître deux phases du phénomène. Dans la première phase, la texture initiale de la roche est visible ; tantôt le feldspath et l'amphibole d'ouralitisation — le pyroxène a complètement disparu — ont les mêmes dimensions ; tantôt l'amphibole constitue de grands cristaux néogènes de 2 centimètres de longueur, allongés suivant l'axe vertical. Au microscope, l'amphibole apparaît homogène ou fibreuse, mais toujours ses cristaux ont leurs extrémités frangées. Les plagioclases, en grandes plages, présentent de très fines macles suivant les lois de l'albite et de la péricline ; ils renferment des aiguilles, parfois groupées à axes parallèles, de l'amphibole qui constitue les grands cristaux. Généralement.

les plages des feldspaths sont bordées par une mosaïque de petits grains du même minéral, résultant de leur friction mutuelle.

L'extinction des grandes plages feldspathiques est d'ailleurs irrégulière, indiquant qu'elles ont subi des efforts de torsion. Enfin elles renferment elles-mêmes des grains feldspathiques néogènes diversement orientés. Il est à remarquer que les macles de ces feldspaths sont beaucoup plus nombreuses et leurs bandes beaucoup plus fines que celles des plagioclases des roches normales de ce groupe. Il paraît donc vraisemblable qu'elles sont dues à des actions mécaniques ; leur production aurait précédé le moment où la limite d'élasticité du minéral va être dépassée et où il commence à se briser sur ses bords et à être parcouru de fissures dont les lèvres jouent les unes contre les autres.

J'ai rencontré un autre exemple de ce type de déformation dans les gabbros ouralitisés du haut Androranga, affluent du Bemarivo et dans ceux du Sud d'Ampanompia, sur un affluent de gauche du Sambirano.

Au Sud d'Antoby, dans la région de Miandrarivo, j'ai recueilli une roche analogue, mais dans laquelle c'est le pyroxène qui a subi des déformations mécaniques avant son ouralitisation. Les fentes du plagioclase sont remplies par des grains de hornblende.

La *seconde phase de transformation* du gabbro de la Vatomarina consiste en une roche dont les caractères extérieurs ne ressemblent en rien aux termes précédents, bien que sa composition minéralogique soit la même. Il s'agit, en effet, d'une roche verdâtre finement cristalline, à aspect de jade ; elle est vaguement rubanée. L'examen microscopique montre qu'elle est constituée par des plagioclases très finement granoblastiques, au milieu desquels sont épars des fragments déchiquetés de plagioclases et d'amphibole ; il s'agit, à l'évidence, de l'exagération du phénomène décrit plus haut, la roche normale n'existant plus qu'à l'état de rares débris ; le plagioclase n'a pas été seulement granulé par actions mécaniques, il a en outre recristallisé et cela est rendu bien évident par ce fait que ce feldspath néogène se distingue de l'ancien, grâce à la présence de petites aiguilles amphiboliques.

J'ai rencontré dans la collection de Baron un échantillon, à grain moyen, provenant du Sud-Est de l'Antsihanaka (hypersthène, hornblende, bytownite, spinelle) ; il résulte d'une transformation analogue, subie par une norite à grands éléments ; les restes de plagioclase et d'hypersthène anciens sont remarquablement tordus,

Deux autres échantillons permettent de compléter cette description. Le premier provient d'un dyke de 15 mètres d'épaisseur, traversant les gneiss du Plateau de Mandaniresaka sur le sentier de Betafo à Mandotra (15 kilomètres Nord du Mont

Vohibe) ; ce gabbro, entièrement ouralitisé, possède, comme feldspath, un labrador très finement schillérisé ; ses plages sont brisées et sont ressoudées par du plagioclase grenu qui se distingue du feldspath primordial en ce qu'il est parfaitement limpide, par suite de l'absence d'inclusions.

La seconde roche présente le même phénomène, sous la réserve que les traces d'actions dynamiques ne sont pas ou ne sont plus visibles. Il s'agit d'un gabbro ouralitisé, recueilli par M. Dropsy sur le bord de la rivière Ambatakazo, à 900 mètres au Nord d'Ankarongana ; le labrador, en grandes plages violacées, est entouré par du feldspath jaune grenu, de même composition, et ces plagioclases sont régulièrement distribués au milieu de hornblende verte granoblastique. Le microscope montre que le labrador violacé est schillérisé et que son auréole jaune consiste en feldspath néogène ; tantôt celui-ci existe seul, tantôt sur les bords des anciens grands cristaux de labrador, il est associé à la hornblende. La structure granoblastique de l'association des deux minéraux est identique à celle qui est réalisée dans les amphibolites feldspathiques de la même localité, de telle sorte que l'étude des roches décrites ici ne laisse pas de doute sur la genèse de ces amphibolites aux dépens de gabbros ; nous les retrouverons dans le chapitre consacré aux schistes cristallins.

γ. **Composition chimique.** — Il était intéressant de savoir si les transformations qui viennent d'être passées en revue sont accompagnées de transformations chimiques et la question a une grande importance pour la discussion de l'origine des schistes cristallins. Pour qu'une démonstration d'une opinion sur ce sujet soit absolument rigoureuse, il faut pouvoir l'appuyer à la fois sur des constatations géologiques et sur une étude comparative, à la fois minéralogique et chimique. Il est nécessaire de trouver des gisements dans lesquels s'observe la roche originelle intacte, présentant avec les formations géologiques avoisinantes des relations stratigraphiques nettes [1], de façon que son origine éruptive soit indiscutable ; il faut ensuite pouvoir suivre le passage de cette roche intacte aux schistes cristallins, puis démontrer, à l'aide de l'analyse, que les deux termes extrêmes de la série, minéralogiquement différents, sont chimiquement identiques. On conçoit aisément qu'un tel ensemble de conditions soit rarement réalisé dans les régions très gneissifiées, où les transformations sont généralement totales. Dans ce cas, l'étude minéralogique et chimique est seule possible ; le problème se résume alors à comparer la composition du schiste cristallin avec celle de roches éruptives connues et de conclure, par analogie, à la communauté d'origine première quand la ressemblance chimi-

1. Cette relation s'observe au mont Vohibory, où des amphibolites feldspathiques schisteuses (anciens gabbros) forment des filons dans une péridotite serpentinisée.

que entre les deux roches est suffisamment étroite. C'est la méthode que j'emploierai dans le chapitre consacré aux schistes cristallins.

Je veux m'occuper ici de deux cas privilégiés, pour lesquels j'ai pu faire [152] la démonstration aussi complète que possible. L'un consiste dans la roche décrite page 422 sous le nom de gabbro noritique mélanocrate de Tsaramanga, au Nord du mont Tongafeno ; cette roche forme un dyke entre la pegmatite à béryl et un orthogneiss dérivant d'un granite. Tandis que les déformations dues à des actions mécaniques sont extrêmement intenses dans ce dernier et sautent aux yeux, le gabbro ne présente pas à l'œil nu de déformation structurale appréciable, mais une partie du dyke est transformée en une amphibolite extrêmement tenace, localement schisteuse, avec orientation parallèle à celle du gneiss voisin. Cette amphibolite, à structure granoblastique (Pl. 26, fig. 3), est essentiellement constituée par une hornblende d'un vert pâle, en grands cristaux criblés d'inclusions ferrugineuses aciculaires ou granuleuses : çà et là, se rencontre une autre amphibole plus claire, à macles polysynthétiques très fines ; il existe un peu de magnétite titanifère entourée par du sphène secondaire.

La seconde roche est la diallagite un peu feldspathique et hypersthénique à grands éléments du mont Ankitsika, à l'extrémité Nord-Nord-Ouest du lac Alaotra (Cf. p. 424). La bordure du massif, qui paraît intrusif au milieu des gneiss, est formée par une amphibolite s'émiettant sous le choc du marteau ; elle constitue aussi de nombreuses veinules au milieu de la roche éruptive. Elle est essentiellement formée par une hornblende, d'un vert très foncé, associée à un peu de diopside et de magnétite titanifère, cerclée de sphène.

Les analyses suivantes (M. Boiteau) permettent de comparer la composition du *gabbro noritique* de Tsaramanga (**106**) et celle de l'*amphibolite* résultant de sa transformation (**107**), puis de la *diallagite* du mont Ankitsika (**108**) et de l'*amphibolite* correspondante (**109**).

	106	**107**	**108**	**109**
SiO^2	48,93	49,12	48,40	47,36
Al^2O^3	8,79	6,51	8,66	7,05
Fe^2O^3	3,35	5,44	0,95	4,72
FeO	7,33	5,29	10,12	9,11
MgO	16,12	17,60	14,59	13,91
CaO	13,46	13,28	14,69	14,27
Na^2O	0,48	0,50	0,54	0,72
K^2O	0,20	0,16	0,14	0,14
TiO^2	0,59	0,59	1,60	1,89
P^2O^5	0,11	0,07	0,07	0,10
H^2O +	0,79	1,08	0,31	0,51
—	0,14	0,18	0,13	0,10
	100,29	99,82	100,20	99,88

On voit que la transformation s'est effectuée, dans les deux cas, sans changement notable de composition chimique, avec seulement suroxydation d'une partie de l'oxyde ferreux ; il est intéressant de constater que dans ces deux exemples, les nouveaux arrangements moléculaires ont fait passer à l'état potentiel dans les amphiboles la petite quantité de plagioclases exprimée dans la roche éruptive ; c'est là un fait extrêmement fréquent et qu'il est nécessaire de noter pour l'interprétation de tant d'amphibolites dépourvues de feldspaths, bien qu'elles dérivent de roches originellement feldspathiques. La notion de feldspath potentiel est donc aussi importante pour la compréhension des schistes cristallins que pour la comparaison des roches volcaniques et des roches intrusives de composition minéralogique différente, mais de composition chimique semblable.

Les conclusions qui viennent d'être exposées sont identiques à celles auxquelles j'ai été conduit par l'étude de la transformation de la norite d'Arvieu (Aveyron), qui se transforme en une sorte d'amphibolite à anthophyllite, avec grenat et albite ; il faut aussi comparer ce cas à une ancienne observation de Sir Jethro Harris Teall, qui a décrit[1] la transformation des bords d'un dyke de diabase de Scourie (Sutherlandshire, Écosse) en amphibolite feldspathique et quartzifère.

Je donne comme comparaison les analyses *a*) de la norite d'Arvieu (III.5.4.4) et *a'*) du produit de sa transformation ; *b*) du gabbro à structure diabasique de Scourie ; *b'*) de l'amphibolite feldspathique, résultant de sa transformation (J. Teall.).

	a	*a'*	*b*	*b'*
SiO^2	51,38	49,40	47,45	49,78
Al^2O^3	13,07	12,43	14,83	13,13
Fe^2O^3	4,46	5,86	2,47	4,35
FeO	6,17	6,17	14,71	11,71
MnO	0,16	0,22	»	»
MgO	17,31	18,22	5,00	5,40
Cao	5,56	5,50	8,87	8,92
Na^2O	1,06	1,04	2,97	2,39
K^2O	0,21	0,35	0,99	1,05
TiO^2	0,60	0,60	1,47	2,22
P^2O^5	tr.	tr.	»	»
H^2O +	0,36	0,41	1,00	1,14
—	»	»		
CO^2	»	»	0,36	0,10
	100,34	100,20	100,12	100,19

1. J. J. Harris Teall. *British Petrography*. London, 1888, p. 198.

2° — *Transformation de roches volcaniques.*

J'ai indiqué page 227 qu'il existe certainement dans le Massif cristallin des épanchements de roches volcaniques sur lesquels je ne possède malheureusement pas de précisions ; je faisais ainsi particulièrement allusion à des roches des environs du Nord de Vohémar, que m'ont remises M. Rouaix et le Service des Mines.

A 5 kilomètres au Nord-Est de Maintialaka (Nord de Vohémar), se trouvent des roches verdâtres, à grain fin, traversées par des filonnets d'épidote ; au microscope, on voit, en lumière naturelle, des phénocristaux de plagioclase et d'ilménite, un peu de sphène et de biotite, disséminés au milieu de microclites de plagioclase et de biotite. La roche est imprégnée d'épidote et de paillettes de biotite ; le plagioclase originel est transformé en albite.

Sur la route de Daraina à Vohémar, à 500 mètres à l'Est de Bezezika (Base de mont Bobakora), s'observent des roches à structure plus ou moins schisteuse, sur le fond verdâtre desquelles se voient de nombreux phénocristaux d'un blanc jaune qui, d'après leur forme, doivent être considérés comme ayant été des plagioclases. L'aspect général est celui d'une roche porphyrique, mais, au microscope, à l'inverse de ce qui a lieu dans la roche précédente, toute trace de structure initiale a disparu. Les phénocristaux sont remplacés par des grains de quartz, enveloppés par une sorte de membrane de pennine. Le reste est constitué par un agrégat granoblastique, hétérogène au point de vue qualitatif, formé par de l'épidote, de l'albite, une peu de quartz et de pennine. C'est actuellement un *schiste à épidote*. A 3 kilomètres à l'Ouest d'Antsahampana, il existe des schistes feldspathiques à épidote ne présentant plûs de trace d'une structure antérieure.

L'*analyse* **110** conduit aux paramètres II(III).5'.4.5, qui sont ceux d'une labradorite à 61 pour 100 d'anorthite. Cette composition doit être comparée à l'*analyse* **111** qui est celle d'une *amphibolite feldspathique à albite* des environs de Vohémar dont les paramètres sont III.5.4.4 ; il est possible que cette dernière roche ait subi quelque transformation chimique du genre de celle suggérée pour l'amphibolite d'Ankarongana dont il est question page 447, mais cependant elle n'a pas été jusqu'à modifier son caractère général de roche éruptive basique.

Ces faits sont intéressants en ce qu'ils montrent qu'une partie au moins des amphibolites de la région de Vohémar résultent de la transformation de roches

éruptives et particulièrement d'une série volcanique ancienne dont il serait intéressant d'entreprendre l'étude.

Analyses (M. Raoult) :

	110	111
SiO^2	46,94	44,22
Al^2O^3	17,31	15,79
Fe^2O^3	8,91	9,64
FeO	3,53	4,74
MgO	4,28	4,53
CaO	11,18	16,72
Na^2O	2,62	1,36
K^2O	0,31	0,71
TiO^2	1,62	1,62
P^2O^5	0,46	0,43
H^2O +	3,03	0,31
—	0,03	0,31
	100,22	100,38
An °/₀	61	74

CHAPITRE VI

PHÉNOMÈNES DE CONTACT DES ROCHES ÉRUPTIVES

J'ai de bonnes raisons de penser que Madagascar sera une source d'observations intéressantes pour l'étude du métamorphisme de contact des magmas éruptifs, lorsque les observations de détail y seront possibles. Il ne saurait en effet être question pour un sujet de ce genre de se contenter de l'examen de roches recueillies sans une méthode rigoureuse sur le terrain, comme cela a été le cas pour tant d'échantillons examinés. Aussi me contenterai-je de quelques remarques sur les gisements du Massif cristallin que j'ai étudiés moi-même ou que j'ai pu faire étudier sur place depuis mon retour.

I. — CONTACTS AVEC DES SCHISTES

A. — *Contacts de schistes avec le granite.*

Les observations faites en France et dans beaucoup d'autres gisements ont conduit les lithologistes français à admettre deux types de mode de transformation métamorphique. Le premier est essentiellement caractérisé par des apports magmatiques, résultant soit d'actions pneumatolytiques soit d'injections directes du magma granitique pour produire des roches feldspathisées ; dans le second, les apports sont moins nets ou même manquent complètement et les roches transformées sont surtout caractérisées par des transformations paramorphiques.

Ces deux types de métamorphisme de contact existent à Madagascar.

a. — Contacts feldspathisés et phénomènes endomorphes.

α. **Schistes feldspathisés et injectés.** — Ce type de métamorphisme se rencontre dans beaucoup de points des régions constituées par la série schisto-quartziteuse

et aussi dans la région gneissique. Malheureusement dans le plus grand nombre des gisements que j'ai observés, les roches sont très décomposées et il ne m'a pas été possible de recueillir des échantillons pouvant se prêter à une étude du genre de celle effectuée par Michel-Lévy sur le contact de Saint-Léon dans l'Allier ou à celle que j'ai faite pour les contacts granitiques des Pyrénées[1], ausssi n'insisterai-je que sur une catégorie de gisement pour laquelle j'ai des observations précises.

La région où ces phénomènes de feldspathisation m'ont paru les plus nets est traversée par la route qui conduit d'Antsirabe au Vontovorona. A la montée qui aboutit au col d'où l'on aperçoit ce dôme phonolitique et entre ce col et le village fortifié d'Ambohidranandriana, la route entaille des micaschistes feldspathisés, dans lesquels on voit, avec une netteté parfaite, la roche schisteuse feldspathisée par imbibition et par injection, lit par lit ; des filons pegmatiques envoyant de fines apophyses entre les couches, se détachent en blanc sur cet ensemble feldspathisé. Toutes ces roches sont transformées en argile, sans destruction de la texture initiale, et je n'ai pu en extraire un seul échantillon cohérent : il n'en est heureusement pas de même pour le gisement suivant.

β. **Phénomènes endomorphes du granite.** *Syénite à sillimanite et corindon* — Une tentative d'exploitation d'un gisement de corindon en place m'a permis d'observer [49] un remarquable exemple d'injection du micaschiste par un granite pegmatique accompagnée de transformations endomorphes fort importantes de celui-ci.

Sur la rive gauche du ruisseau Antavy, près du toby d'Anjomakely, les micaschistes très redressés et plissés ne se voient en contact avec le granite que sur environ 4 mètres. Ils sont injectés par des apophyses granitiques et en outre très feldspathisés. Ce sont ces portions métamorphisées et ces apophyses qui contiennent le corindon en cristaux n'ayant parfois que 1 ou 2 centimètres, mais pouvant dépasser un décimètre. On s'aperçoit de la feldspathisation des micaschistes grâce à ce que les cristaux de corindon sont entourés par une petite zone blanche feldspathique qui manque dans les échantillons recueillis plus loin du contact.

Quand on se rapproche des veines granitiques, on voit le micaschiste se ponctuer de petites taches blanches de feldspath ; puis celles-ci deviennent de plus en plus abondantes, la roche prend un aspect gneissique ; bientôt la texture schisteuse disparaît, le feldspath devient abondant puis prédominant, et l'on passe ainsi,

1. Le granite des Pyrénées et ses phénomènes de contact. *Bull. Serv. carte géol. France*, n° 64, t. X, 1898, et n° 71, t. XI, 1900.

progressivement, à des roches encore plus pauvres en mica, pour arriver près du granite à une roche presque exclusivement feldspathique, au milieu de laquelle sont distribués de gros cristaux de corindon à formes nettes. L'examen à la loupe permet de déceler au milieu des feldspaths de petites fibres de sillimanite.

L'étude microscopique fait voir que dans toutes ces roches le quartz est absent ; le feldspath, en plages granulitiques, est uniquement constitué par du microcline quadrillé, englobant pœcilitiquement d'innombrables aiguilles de sillimanite, de petits cristaux de corindon, souvent cristallitiques, associés à des paillettes de biotite. A signaler encore un peu de zircon et de magnétite.

Il s'agit, en définitive, d'une véritable *syénite à corindon et sillimanite*. On voit que la portion injectée du magma granitique a été profondément modifiée : toute sa silice libre a été saturée par l'alumine non combinée du sédiment pour donner naissance à la sillimanite, alors que l'excès d'alumine a cristallisé sous forme de corindon. Le même phénomène s'est produit dans la portion du magma entraînée *par imbibition* dans le sédiment lui-même et, là encore, il s'est produit uniquement du feldspath et des minéraux purement alumineux, au lieu du quartz et du feldspath qui caractérisent d'ordinaire les produits injectés dans des contacts granitiques.

Cette observation sur le terrain me permet d'interpréter d'autres gisements remarquables qui ont fourni des roches d'une fraîcheur beaucoup plus grande que je n'ai étudiées que dans le laboratoire, mais qui sont identiques à celles qui viennent d'être décrites ; elles offrent en outre quelques particularités spéciales.

Un premier gisement de ce genre se trouve à environ 10 kilomètres au Sud-Sud-Ouest du village d'Ambodilaza, situé lui-même à 6 kilomètres Ouest-Sud-Ouest de Tamatave. J'ai été documenté sur lui par M. Michaut. Le second est situé dans le bassin de l'Iaroka (district d'Anivorano). Je l'ai désigné, tome I, p. 251, sous le nom de Fanovana, d'après les premières indications qui m'avaient été fournies. Enfin au moment de la mise en pages de cette feuille, me parviennent des échantillons d'un troisième gisement découvert par M. J. Dreyfus à Ambinanimandala sur le Sahatsara (40 kilomètres Ouest de Tamatave, un peu à l'Ouest du méridien passant par Manakambahiny et Ampitabe).

MM. Chulliat, Perrier de la Bathie et Contanciel viennent de me donner des précisions sur le gisement de l'Iaroka ; il se trouve au Sud de Fanovana, station du chemin de fer de l'Est, à Ambatofotsy sur la rive gauche du ravin de Sahamalato, descendant vers l'Iaroka. Une veine feldspathique est intercalée dans un micaschiste très altéré (orienté Nord-Est Sud-Ouest, avec léger plongement vers le Sud-Ouest), exploité dans la région, pour le graphite. Le gisement, en partie

couvert par des éboulis de diabase provenant d'un filon voisin, a fait l'objet d'un commencement d'exploitation ; il en a été extrait une quarantaine de tonnes de roche. C'est certainement de cette veine ou d'une veine analogue que proviennent les cristaux de corindon à faces planes que l'on recueille à quelques kilomètres en

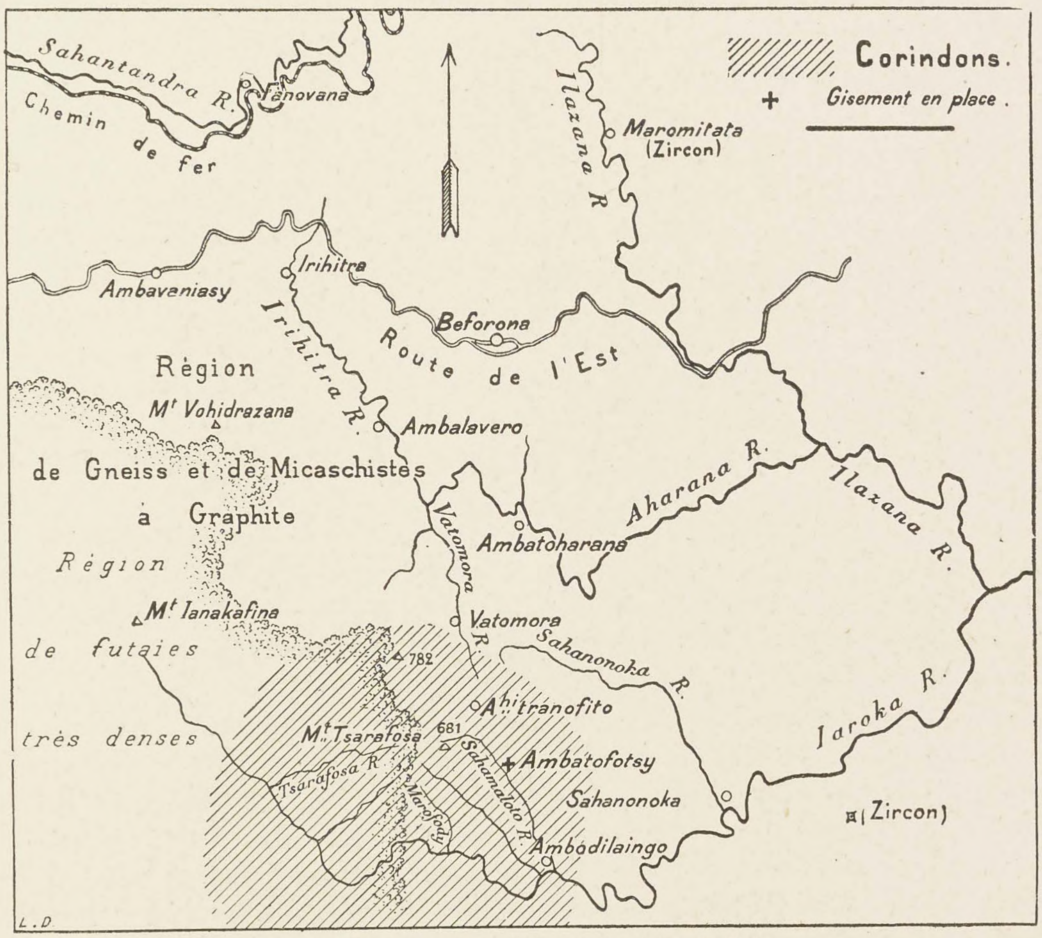


FIG. 11. — Gisements de corindon de la région de Beforona.

aval, dans les alluvions d'Ambodilaingo et auxquels sont quelquefois adhérents un peu de muscovite et de microcline.

Dans ces divers gisements, on trouve d'une part des types à facies gneissique, riches en biotite et d'une autre des échantillons très pauvres en mica. Là encore, lorsqu'il existe du mica, les gros cristaux de corindon sont séparés de lui par une zone feldspathique très étroite. Enfin, il existe des roches ne contenant pas de mica du tout.

L'examen microscopique montre la composition indiquée pour les roches d'Anjomakely ; c'est-à-dire l'absence du quartz et l'existence du microcline comme feldspath ; celui-ci présente un aspect nacré. La sillimanite est exceptionnellement associée à un peu de disthène bleu (Ambatofotsy, Ambinanimandala).

Une remarque doit être faite au sujet de la forme des cristaux de corindon de ces contacts. A Anjomakely, la forme unique est celle d'isoscéloèdres très aigus (tome II, fig. 2, pl. 19), tandis qu'à Ambodilaza et à Ambatofotsy, la forme prédominante est le prisme hexagonal basé, très aplati suivant l'axe vertical, mais sans faces isoscéloédriques (même planche, fig. 6 à 9). On trouve donc réunis dans ce même type de gisement les deux facies principaux des cristaux de corindon, ce qui prouve qu'aucun d'eux n'est une conséquence de conditions spéciales de formation. Ceci est intéressant, car depuis les expériences synthétiques de M. Morozewicz[1], on avait une tendance à regarder l'aplatissement des cristaux de corindon comme preuve d'une cristallisation dans un magma fondu.

Le corindon de ces divers gisements n'ayant pas la même couleur quand ils présentent des formes différentes, il est probable que, comme dans les expériences de M. P. Gaubert[2], ces formes ont été influencées par la présence de très petites quantités de matières étrangères.

Dans ces divers gisements le corindon présente des aspects différents ; à Anjomakely, il est gris et opaque ; à Ambodilaza, d'un beau rouge violacé et souvent translucide ; à Ambatofotsy, sa coloration est d'un beau rouge rubis (ou plus rarement jaunâtre) et les cristaux souvent très translucides.

Ce dernier gisement présente d'ailleurs des roches assez variées ; en plus de celles qui ont été signalées plus haut, je signalerai une sorte d'aplite syénitique, dans laquelle de petits grains translucides de corindon rouge, plus rarement incolore, jouent le rôle du quartz dans l'aplite ordinaire ; çà et là se voient quelques lames de muscovite. Une pegmatite syénitique renfermant un peu de muscovite contient des cristaux de corindon de 2 centimètres qui sont bleuâtres et tachetés de rose. Le même échantillon renferme des cristaux basés et des isoscéloèdres aigus accompagnés d'une petite base. Enfin, d'Ambodilaza, j'ai vu une pegmatite un peu quartzifère renfermant du corindon rouge rubis, des trapézoèdres de grenat almandin et des lames de biotite.

J'ai fait remarquer déjà tome I, p. 251, qu'à l'inverse des cristaux de corindon renfermés par les micaschistes, ceux qui se rencontrent dans ces roches feldspathiques, ont des faces planes. Les nombreux échantillons de tels cristaux recueillis dans diverses localités énumérées plus haut, indiquent que les contacts du genre

1. *Tschermak's Min. u. petr. Mitt.*, t. XIII, 1888, p. 22, 202.
2. *C. Rendus*, t. CXLVII, 1908, p. 1482.

de ceux qui viennent d'être étudiés sont certainement très nombreux dans la forêt de l'Est.

J'ai fait analyser (**112**) un échantillon de la roche endomorphe d'Ambatofotsy, en ayant soin de choisir un échantillon pauvre en corindon ; sa composition est la suivante : 1.5.1(2).2.

	112
SiO^2	47,10
Al^2O^3	40,60
Fe^2O^3	0,76
FeO	1,61
MgO	0,38
CaO	0,46
Na^2O	1,60
K^2O	5,32
TiO^2	1,03
P^2O^5	»
H^2O +	0,92
—	0,22
	100,00

Cette composition correspond à 47,3 pour 100 de feldspaths (microcline 31,14, albite 13,52, anorthite 2,50), avec 42,44 pour 100 de sillimanite et 3,98 de corindon. J'ai examiné d'autres échantillons qui renferment jusqu'à 50 pour 100 (en poids) de ce dernier minéral.

Les contacts qui viennent d'être décrits ont un grand intérêt en ce qu'ils fournissent un exemple incontestable de transformation endomorphe du magma granitique par assimilation d'un sédiment. La composition chimique de celui-ci (richesse en alumine libre) rend particulièrement facile la discussion du phénomène.

Cette syénite à corindon renferme, à Ambatofotsy, une roche magnifique, quelquefois un peu feldspathique, formée par des baguettes (et non des fibres) enchevêtrées, souvent bacillaires, de sillimanite, à clivage nacré, au milieu desquelles se voient de gros cristaux noirs de spinelle englobant de petits cristaux de corindon ; il existe aussi des nodules uniquement constitués par du corindon rose, finement grenu et qui, sous un volume réduit, sont identiques à la corindonite dont il va être question plus loin.

Toutes les roches qui viennent d'être décrites, les syénites à corindon aussi bien que les roches à sillimanite, sont traversées par des veines, de quelques millimètres ou de quelques centimètres d'épaisseur, constituées par de la *damourite*, soit en grandes lames comme celles du gisement originel de Pontivy qui accompagnent le disthène, soit sous forme d'une masse compacte, translucide, cryptocristalline. Dans cette roche verte, on voit parfois des cristaux de corindon rose en voie de

transformation micacée ; l'examen microscopique montre que, quelle que soit la texture de ce mica, il résulte de la transformation de tous les minéraux précités : microcline, sillimanite, corindon[1].

Corindonite. — Je désigne sous le nom de *corindonite* une roche qui est exploitée dans la Sahamaloto et dans les ravins voisins de Tsarafosa et de Marofody ; je la connais aussi dans d'autres rivières de la forêt de l'Est (région de Vatomandry et de la Saka). Elle n'a été rencontrée jusqu'ici[2] que sous la forme de galets ou de blocs arrondis qui peuvent peser jusqu'à plusieurs centaines de kilogrammes. De la Sahamaloto, il en a été extrait déjà près de 3 000 tonnes.

Cette roche est extraordinairement tenace ; plus souvent grise que rosée, elle est parfois tout à fait homogène, elle laisse voir dans d'autres cas quelques taches d'un spinelle presque noir.

L'examen microscopique n'y montre à peu près que du corindon incolore granoblastique, exceptionnellement moulé poecilitiquement par de la tourmaline ferrifère ou du spinelle. Dans quelques échantillons, on voit aussi localement de petits nodules blancs de sillimanite fibreuse et des lames de muscovite primaire qu'il ne faut pas confondre avec de très fines paillettes du même minéral qui se sont certainement formées, par voie secondaire, aux dépens du corindon.

Au point de vue de sa composition lithologique, cette corindonite peut être comparée à celle qui est connue depuis longtemps[3] dans le Sud de la province de Rewah (Indes anglaises), entre Pipra et Kadopáni, où elle forme un banc épais (30 mètres) intercalé entre un gneiss et une amphibolite. Au point de vue de la genèse, cette corindonite a donc une origine différente de celle de la roche malgache ; néanmoins elle possède le même grain, la même structure, sa couleur est souvent d'un rouge pourpre : elle contient parfois des paillettes de fuchsite, d'un vert émeraude, et des agrégats de diaspore et de tourmaline, avec du rutile. M. Judd, qui en a fait l'étude microscopique[4], y a trouvé, en outre, de la picotite, que je n'ai pas observée dans les échantillons examinés.

J'ajouterai que j'ai trouvé des cailloux roulés d'une roche tout à fait analogue

1. On sait que des transformations de corindon en damourite ont été jadis décrites par Genth (*Amer. philos. Soc.*, t. XIII, 1873, p. 361).

2. Bien que cette corindonite n'ait pas été trouvée en place, l'existence de blocs, formés mi-partie par elle et mi-partie par la roche à sillimanite décrite plus haut, ne laisse aucun doute sur son origine.

3. Cf. Mallet. *Record Geol. Survey India*, t. V, p. 20 et *A manual of the geology of India. Economic Geology*, Part I, Corundum, by Th. Holland, Calcutta, 1898, p. 49.

4. *Miner. Magaz. London*, t. XI, 1895, p. 58.

parmi des échantillons provenant des alluvions stannifères de Kramah Pulaï (Straits Settlements).

Je dois à M. Michaut un bloc pesant 146 kilogrammes d'un autre type de corindonite, provenant d'Antohidrano, dans le voisinage de la roche décrite page 437 ; des échantillons analogues se trouvent au Nord-Ouest d'Ambalakondro sur l'Ivolovoloina, autre affluent de l'Ivoloina. Sa cassure est à gros grain ; elle est essentiellement constituée par du corindon gris perle, en plages de 3 à 4 millimètres en moyenne avec quelques cristaux de plus grande ou de plus faible dimension. On distingue en outre, à l'œil nu, quelques plages de muscovite et de biotite chloritisée, ainsi que de petites taches blanches, terreuses, représentant probablement des feldspaths disparus.

L'examen microscopique met en évidence une structure granoblastique ; quelques contours hexagonaux s'observent seulement de loin en loin. Le corindon présente de très nombreux plans de séparation suivant *p*, accompagnés parfois de macles. Ses contours, ses plans de séparation sont très souvent envahis par la damourite.

Peut-être faut-il comparer cette roche à une corindonite, à grands éléments, d'Hunsur Taluk (Mysore), dans laquelle il existe un peu de diaspore et de chlorite. Cette roche est intercalée au milieu de schistes graphiteux à sillimanite et aussi d'amphibolites.

b. — Contacts non feldspathisés.

α. **Cornéennes à cordiérite.** — J'ai trouvé une roche remarquable dans une collection d'échantillons recueillis dans le massif des Vavavato par le P. Muthuon qui, depuis lors, a bien voulu me préciser les conditions de son gisement. Il s'agit d'une cornéenne formant une grande enclave allongée Nord-Ouest dans le granite gneissique d'Anafovato, au Sud d'Antanetilava, village situé à 2 ou 3 kilomètres du dyke de luscladite de Fiakarantsoa sur le chemin de Betafo à Faratsiho.

C'est une roche noire, à cassure esquilleuse, ayant l'aspect d'un silex. L'examen microscopique fait voir qu'elle est essentiellement constituée par de très petits cristaux de cordiérite, à macles pseudo-hexagonales ; ils englobent de fines granulations, opaques, noires, ou légèrement translucides et alors de couleur verte, de spinellides (magnétite et pléonaste).

Cette roche est certainement un ancien sédiment argilo-magnésien métamorphisé par le granite ; cette observation présente un intérêt géologique en prouvant l'existence, dans ce massif montagneux, de sédiments anciens qui n'y ont pas encore été remarqués à l'état intact. Par la petite dimension de la cordiérite

qu'elle renferme, cette cornéenne rappelle plus les enclaves argileuses métamorphisées des laves basaltiques[1] que les cornéennes de contact des granites qui sont généralement à beaucoup plus grands éléments.

β. **Schistes maclifères.** — Deux régions doivent être signalées, dans lesquelles ont été rencontrés, non en place, des sédiments paléozoïques assez peu métamorphisés ; ces régions fourniront peut-être tôt ou tard quelque fossile permettant de les dater. Ce sont des schistes ampéliteux, rappelant certains types des Pyrénées et de Bretagne, au milieu desquels se trouvent de petits cristaux blancs de chiastolite, avec les inclusions cruciformes bien connues ; ces cristaux sont transformés en damourite cryptocristalline. J'ai trouvé des échantillons de ces roches dans la collection de Baron qui les avait recueillis près de la côte Nord-Est, entre Mahalevona et Andranovelona (région d'Anonibe). Les mêmes schistes se trouvent en place dans l'Ouest d'Andohatsindra et dans la région de Bemahazembina (E. de Laondany) (Cf. tome I, page 404).

γ. **Schistes micacés.** — Des schistes micacés typiques, constitués par des grains de quartz entourés par des lames de biotite et passant à des quartzites, caractérisent les contacts granitiques de la région d'Ambatofangehana. J'en ai recueilli notamment de bons exemples au gué de la Vatomarirana (sur la route d'Ambositra) et à Ambohibary (type à facies micaschisteux, avec phénoblastes de muscovite et un peu d'épidote). Il faut encore rapporter à ce type les schistes et les quartzites micacés d'Ambatofinandrahana, passant à des phyllades. A Tsaravinany (confluent de la Mania et de l'Ivato), se trouvent des cornéennes micacées non schisteuses, remarquables par l'abondance de petits grains de calcite.

Je dois à M. Perrier de la Bathie un échantillon de schiste micacé recueilli sur la rive gauche du Vatonalihala, près Mahabo, entre la Linta et l'Onilahy ; il est riche en petites aiguilles de sillimanite de 1 à 2 millimètres et en phénoblastes de grenat rouge atteignant 1 centimètre. La structure de son mica ne laisse pas de doute sur la légitimité de son attribution à un contact granitique.

δ. **Micaschistes à corindon.** — Les observations faites dans le Sud-Est d'Antsirabe (Ankazondrano, Vohitromby, Anjomakely et plus à l'Est mont Vatondrangy, Menatratra à 10 kilomètres Est Soavinarivo) m'ont porté à considérer [49] les micaschistes (à biotite et muscovite) à minéraux alumineux qui y abondent, comme devant leur métamorphisme, au moins en partie, à l'action du granite. Ces mica-

1. A. Lacroix, *Les enclaves des roches volcaniques*, 1893, p. 577.

schistes renferment en abondance de la sillimanite qui leur donne souvent un aspect fibreux ; ce minéral, aussi bien que la muscovite, est enveloppé par de grandes lames de biotite riches en inclusions de zircon à auréoles polychroïques intenses ; le corindon forme des porphyroblastes pouvant dépasser un décimètre de longueur ; ils sont uniformément distribués et apparaissent en relief sur les surfaces altérées par les agents atmosphériques ; ils sont recueillis dans la terre résultant de la décomposition du micaschiste ; l'énumération des gisements de corindon donnée page 250 du tome I, montre la grande dissémination dans l'île de ces roches qui y constituent la source principale du corindon industriel. Le microscope prouve qu'en outre de ces grands cristaux, il en existe d'autres, dissimulés dans les micas. Ces micaschistes à corindon affectent une allure lenticulaire au milieu d'autres roches similaires à almandin et tourmaline, à sillimanite ou même au milieu de micaschistes sans minéraux spéciaux. Ils alternent avec des lits quartzeux renfermant un peu de microcline.

Ces micaschistes sont ceux qui, au contact immédiat du granite, présentent parfois les transformations plus intenses décrites plus haut.

ε. **Émeri.** — Je rattache aux micaschistes à corindon une roche sur le gisement de laquelle je n'ai pas de renseignements, mais qui a certainement une origine métamorphique. Je l'ai rencontrée dans une collection qui m'a été envoyée au début de la colonisation par Garnier Mouton, qui commandait alors à Betafo. Cet échantillon provient de Laondany et présente de l'analogie avec l'émeri de Naxos, dans l'Archipel grec.

C'est une roche schisteuse, très dense, noire, pailletée de blanc. L'examen microscopique montre qu'elle est essentiellement constituée par du corindon, de très petites paillettes de muscovite, associés à quelques cristaux de tourmaline et de staurotide. Le corindon est irrégulièrement coloré en bleu foncé : des traînées d'inclusions de rutile aciculaire sont distribuées parallèlement à la schistosité, à travers les cristaux de corindon d'orientation variée.

B. — *Contacts de schistes et de gabbros.*

Parmi les échantillons de roches du massif de l'Itsindra que m'a communiqués M. Perrier de la Bathie, se trouve un fragment recueilli sur la bordure du massif et qui est une cornéenne de contact résultant vraisemblablement de la transformation des schistes au milieu desquels se trouve ce massif intrusif. Malheureusement cet échantillon n'ayant pas attiré l'attention du collecteur sur le terrain, je n'ai pu avoir de précision sur l'importance de son gisement.

C'est une roche noire, finement grenue, dans laquelle, à l'œil nu, ne se distinguent que quelques paillettes de biotite, au milieu de feldspath et de quartz. L'examen microscopique montre qu'elle est entièrement constituée par des grains, d'égales dimensions, d'orthose, d'oligoclase-andésine, de *cordiérite*, à macles peu distinctes, et de quartz ; il faut y ajouter des paillettes de biotite, des grains de magnétite titanifère et quelques cristaux de tourmaline.

L'analyse **112** (M. Raoult) met en évidence un excès d'alumine (7,65 pour 100) sur la quantité feldspathisable, caractère commun à toutes les roches renfermant de la cordiérite.

Il est intéressant de montrer l'analogie de la composition de cette roche avec celle du type de la troisième classe de cornéenne (type à plagioclases et cordiérite) admise par M. G.-H. Goldschmidt[1] dans son étude du métamorphisme de contact de la région de Kristiania. Cette roche, dont l'analyse est donnée en *a*, provient de Kolaas et a été recueillie au contact de la nordmarkite.

	113	*a*
SiO^2	57,74	58,83
Al^2O^3	14,75	17,54
Fe^2O^3	8,46	»
FeO	7,38	8,42
MgO	2,84	3,40
CaO	1,36	2,24
Na^2O	0,98	1,35
K^2O	3,24	4,35
TiO^2	2,63	0,59
P^2O^5	tr.	0,46
H^2O +	0,47	1,96
—	0,19	0,13
CO^2	0,17	0,50
	100,21	99,86

II. — CONTACTS AVEC DES QUARTZITES.

A. — *Contacts des quartzites et des pegmatites.*

Les quartzites, si développés à l'Ouest du méridien d'Antsirabe et d'Ambositra, sont des grès métamorphisés qui ont souvent subi l'action évidente du granite.

1. Die Contaktmetamorphose im Kristianiagebiet. *Vidensk. Skrift. 1. Math. naturw. Klasse*, Kristiania, 1911, n° 1, p. 156.
2. Y compris MnO 0,09.

N'ayant pas de contact immédiat à décrire, je renvoie pour leur description au chapitre des schistes cristallins. Je rappellerai seulement que la production de cryptes à cristaux de quartz n'est peut-être pas sans quelque relation avec le voisinage du granite.

Par contre, j'ai observé un assez grand nombre de contacts de ces mêmes quartzites avec des filons de pegmatite et il est possible de préciser en quoi a consisté l'action métamorphisante de cette dernière roche.

Elle a produit surtout de la tourmaline, accompagnée ou non de micas. Entre le mont Tsaravovonana et Andaombatotany (Sud-Est de Samiresy), la tourmaline est noire et associée à de la muscovite ; près d'Anosivolo (vallée de la Sahatany), la tourmaline est bleue, elle est accompagnée de biotite et d'un peu d'albite ; sur quelques centimètres, il y a passage progressif (par endomorphisme) au granite, qui est alors très quartzifère ; sa tourmaline est d'un gris bleu moucheté de vert.

Au contact des pegmatites lithiques de Manjaka et d'Antandrokomby, des quartzites très friables sont essentiellement constitués par du quartz et de la tourmaline jaune clair qui devient incolore en lames minces. Dans le dernier de ces gisements, ces quartzites sont souvent imprégnés d'autunite terreuse, provenant de la décomposition de très petits cristaux de blomstrandite se trouvant dans les veinules de pegmatite injectée.

III. — CONTACTS AVEC DES CALCAIRES.

A. — *Contacts des calcaires et des granites.*

Le contact du granite et des calcaires de la région d'Ambatofangehana présente des particularités remarquables ; en certains points, comme, par exemple, à Marosaha près Voanana, le calcaire est devenu marmoréen et renferme des lits ou des amandes de diopside blanc grenu, fréquemment bordés de trémolite. Dans ces contacts, très analogues à ceux des pegmatites de la Sahatany qui vont être décrits plus loin, les silicates métamorphiques sont parfois colorés en noir par une matière graphiteuse. Les associations minéralogiques dont il s'agit ne diffèrent pas de celles qui seront étudiées dans les calcaires intercalés au milieu des schistes cristallins. Elles résultent de transformations purement paramorphiques, sans apports extérieurs.

Je pense qu'il faut aussi rattacher à ce même type de métamorphisme les

transformations du calcaire blanc bleuâtre, à grain variable, de la rive gauche de la Manandona, en aval du confluent de la Sahatany ; ce calcaire renferme des cristaux de quartz, de grossulaire (essonite) jaune, de 1 centimètre de diamètre, associés à des cristaux plus petits de wollastonite ; dans ses fentes il existe un peu de trémolite asbestiforme. Ce type de calcaire rappelle celui des contacts des Pyrénées.

Plus intéressants sont les calcaires d'Ambatoarina, coupés par la route d'Ambatofangehana à Ambositra ; le temps m'a manqué pour toucher leur contact immédiat avec le granite — il est caché sous la couverture de hautes herbes —, mais j'ai pu constater qu'à peu de distance de celui-ci, ces calcaires rubanés présentent une composition minéralogique variable.

Certains lits constituent des marbres blancs homogènes, sans silicates apparents. D'autres renferment en abondance cette amphibole spéciale, riche en alcalis, que j'ai appelée *imerinite*. Elle forme parfois des cristaux nets, d'un bleu noir foncé, ayant jusqu'à 2 centimètres de longueur et apparaissant en relief sur les surfaces exposées à l'air. Dans d'autres cas, l'imerinite est fibreuse, d'un bleu lavande ; elle forme même localement de véritables amphibolites qui contiennent d'ailleurs toujours un peu de calcite ; des cubes de pyrite (plus ou moins limonitisée), atteignant jusqu'à 3 centimètres d'arête, sont fréquents et abondants ; ils sont localement accompagnés par des mouches de galène.

L'examen microscopique montre qu'au milieu des plages de calcite, maclées suivant b^1, l'imerinite est associée à de petites lamelles de microcline et d'albite, à des grains de quartz englobant de fines aiguilles d'imerinite ; enfin il existe des cristaux d'un minéral, que l'on ne pouvait s'attendre à trouver en semblable occurence, la *monazite*.

Ailleurs apparaît de la phlogopite, tantôt microscopique, tantôt en cristaux de plus de 1 centimètre, allongés suivant l'axe vertical ; dans ce cas, l'imerinite se raréfie et disparaît peu à peu. Cette phlogopite est accompagnée de grains de quartz colorés en bleu verdâtre par de menues fibres d'imerinite ; enfin, il existe des variétés, à grain fin, de cette roche micacée qui sont très riches en phlogopite, en quartz et en microcline ; par diminution progressive de la calcite, elles passent à des calcschistes, puis à des schistes micacés.

Dans ces calcaires, plus ou moins riches en minéraux colorés, sont intercalés des bancs finement grenus, teintés de rose, au milieu desquels se détachent des cristaux d'albite aplatis suivant g^1 et pouvant atteindre 1 centimètre.

L'examen microscopique montre que cette albite est généralement séparée du reste de la roche par de grandes plages de calcite et que la masse rosée est surtout constituée par des lamelles d'albite accompagnées ou remplacées par du micro-

cline. Par places, l'empilement de ses lamelles rappelle la structure microlitique d'une roche éruptive, mais ces pseudo-microlites de feldspath sont souvent moulés pœcilitiquement par de grandes plages de calcite et de *célestite* qu'accompagnent quelques cristaux de monazite.

Au milieu des bancs de ce calcaire à grain fin, j'ai rencontré des veines qui rappellent celles d'une pegmatite au milieu d'un granite : elles sont constituées par une roche dense, à grands éléments, formée par des proportions presque égales de calcite, de *célestite*, de quartz, de microcline, avec parfois, en outre, ce nouveau carbonate basique de strontium et de cérium que j'ai appelé *ambatoarinite* (Cf. tome I, page 300). Ces minéraux ont cristallisé à peu près simultanément. Il existe en outre en abondance des cristaux nets et des plages xénomorphes de monazite visibles à l'œil nu et souvent englobés en grand nombre, pœcilitiquement, par de la *célestite* ; ces cristaux se réunissent aussi pour constituer localement de petits agrégats grenus. Des grains d'apatite présentent la même disposition. Enfin il existe aussi quelques cristaux d'*ægyrine*, de biotite et de *galène*. C'est de cette roche, ou plus exactement des matériaux incohérents remplissant une de ses fissures et résultant de sa décalcification, qu'ont été extraits les cristaux de monazite figurés page 350 du tome I.

A peine est-il besoin de souligner le caractère exceptionnel de ce contact, d'origine pneumatolytique, qui présente l'association, pour la première fois constatée [146], de feldspaths, d'amphibole et de pyroxène alcalins, de sulfures métalliques (plomb), de minéraux riches en strontium, en cérium, lanthane et didyme.

Je renvoie à la page 62 pour la description des gisements cuprifères et plombifères d'Ambatofangehana qui, à quelques kilomètres de distance, me paraissent être également en relation avec la mise en place du granite.

B. — *Contacts des calcaires et des pegmatites.*

On a vu plus haut qu'un grand nombre de pegmatites lithiques, notamment celles de la vallée de la Sahatany et d'Antsongombato se trouvent au milieu des calcaires. Les exploitations pour gemmes ont mis à vif un grand nombre de belles coupes, dans lesquelles il est possible d'étudier les importantes transformations subies par les calcaires.

Calcaires marmoréens. — Au contact immédiat de la pegmatite, le calcaire est toujours entièrement silicaté sur une épaisseur variant de quelques centimètres à un grand nombre de mètres ; puis la calcite devient peu à peu prédominante et

la roche passe à un véritable marbre, qui, suivant les gisements, est riche ou pauvre en minéraux métamorphiques. Ceux-ci sont les mêmes que dans la zone de transformation totale.

Ces calcaires prennent souvent une teinte verdâtre, par suite de l'existence de pyroxène et d'amphibole. Je citerai comme exemple un calcaire formant de petits lits au milieu des micaschistes traversés par la pegmatite d'Antaboaka (rive droite du ruisseau). Il présente l'aspect d'un cipolin ; l'examen microscopique y fait voir les minéraux suivants : microcline à macles très fondues, anorthite, quartz, diopside, apatite en grains incolores, moulés par de la calcite maclée suivant b^1. Il existe en outre du sphène très polychroïque dans les teintes roses, fort peu de biotite, de tourmaline, davantage d'actinote, le seul minéral de la roche qui présente des formes distinctes (m) ; on y observe des auréoles polychroïques très intenses autour d'inclusions de sphène (et d'allanite?)

Des calcaires analogues se trouvent en de nombreux points de la vallée de la Sahatany, du plateau d'Analalava près d'Antsongombato, etc. A Marirano (Sahatany), j'ai rencontré en outre des cristaux de wollastonite, d'un blanc laiteux, mesurant plusieurs centimètres.

Pyroxénites et amphibolites. — Dans quelques contacts de la vallée de la Sahatany (Maharitra, Marirano, Ambalaroy, etc.) et du Sud de la Manandona, le calcaire est parfois séparé de la pegmatite par une zone de diopside blanc laiteux, à plans de séparation nets suivant p ; il forme (Ampantsikahitra, Ambalaroy, Ieninkenina) de beaux cristaux de plusieurs centimètres de longueur, là où il reste un peu de calcite ; ce diopside est généralement accompagné, et parfois remplacé, par de la trémolite ou de l'actinote d'un vert pâle. Ces amphiboles forment aussi des agrégats bacillaires ou miarolitiques fournissant de beaux échantillons de collection quand ils ont été débarrassés de leur calcite par les eaux pluviales (Maharitra, Marinano, Tompobohitra, Ranomafana, Antandrokomby, Ieninkenina). Dans certains cas (Ampantsikahitra), on voit l'amphibole associée au quartz corroder le pyroxène.

Une roche à trémolite, un peu ferrifère et verdâtre, se trouve sur les bords de la Matsiatra près d'Imody, en aval d'Andranomafana, au contact de la pegmatite à amazonite.

A Maharitra, il est fréquent que le contact immédiat avec la bordure extérieure de la pegmatite (formée par de la tourmaline) ait une couleur jaune paille sur une épaisseur d'environ $0^{cm},5$. L'examen microscopique montre que cette zone est constituée par de la calcite secondaire englobant des îlots de pyroxène et d'amphibole ; elle résulte de l'action des eaux atmosphériques superficielles cheminant entre la roche éruptive et le sédiment.

Enfin, à Marirano, la pegmatite a englobé des blocs de calcaire qui ont été plus

ou moins complètement transformés en actinote, finement fibreuse, séparée de la roche éruptive par une gaine de biotite qui permet de l'extraire facilement.

Cornéennes. — Ces roches présentent un très grand développement dans de nombreux contacts : les plus typiques sont ceux d'Antandrokomby, de Manjaka et d'Antsongombato ; il est facile d'y recueillir des échantillons mixtes de pegmatite et de sédiments métamorphisés absolument frais ; des enclaves abondent en outre au milieu du filon.

A quelque distance du contact, les cornéennes sont d'un jaune crème, tantôt uniforme (Antandrokomby), tantôt tacheté de noir. Au contact immédiat, la pegmatite est constituée par une zone très riche en tourmaline ; le sédiment, lui, est noir, pailleté de mica ; cette partie micacée semble se diffuser dans la cornéenne jaune ; quelquefois (Antsongombato), elle se prolonge dans celle-ci sous forme de langues étroites se prolongeant entre les lits parallèles.

Je prendrai tout d'abord comme exemple Antandrokomby ; les plaques taillées au contact immédiat font voir que la tourmaline qui borde la pegmatite est toujours très zonée (vert foncé au centre par exemple, jaune dans une zone intermédiaire et enfin incolore à l'extérieur) ; les cristaux, pressés les uns contre les autres, enveloppent souvent des grains de quartz.

Du côté du sédiment, les cristaux de tourmaline sont plus petits, généralement bleuâtres au centre, verdâtres sur les bords. Ils englobent un grand nombre de grains de quartz ; ce dernier minéral, associé à de la biotite de couleur pâle, caractérise la zone colorée de la cornéenne. La biotite est en partie enveloppée par du quartz et en partie postérieure à celui-ci. A ces minéraux s'adjoint souvent de la *scapolite* qui a cristallisé après le quartz.

Bientôt apparaissent de grands cristaux de diopside incolore, d'environ 1 millimètre de diamètre ; ils ont une structure dentelliforme dont les *jours* sont remplis par des paillettes de biotite et des grains de feldspath, parfois non maclé et présentant souvent les macles caractéristiques du microcline. Il existe aussi un peu de quartz et d'albite. Très rapidement, le nombre des cristaux de pyroxène augmente et bientôt ils constituent entièrement la roche qui est devenue la cornéenne normale.

Une complication fréquente consiste dans l'interposition, entre la bordure périphérique de la pegmatite riche en tourmaline et la zone micacée du sédiment, de très gros cristaux de *scapolite*, criblés de petits grains de quartz vermiculé et moulant de grandes plages homogènes de quartz. A cette portion riche en scapolite, succède la zone quartzo-micacée décrite plus haut, puis la scapolite réapparaît dans la cornéenne à diopside, où l'on observe les interpénétrations de ces deux minéraux principaux ; il faut signaler enfin un peu de sphène.

Ces transformations indiquent de la façon la plus nette un apport de silice, d'alumine, d'alcalis provenant du magma, avec élimination consécutive presque complète des éléments du calcaire. La répétition de ce phénomène sur toute la périphérie des enclaves ne laisse pas de doute à cet égard et ne permet pas de confondre cette zone quartzo-micacée avec les quartzites micacés qui ont été étudiés plus haut.

A Antsongombato, la cornéenne présente un aspect extérieur analogue à celui qui vient d'être décrit, mais elle est souvent plus ou moins rubanée, par suite de l'existence de lits micacés en continuité avec la bordure de contact immédiat de celle-ci ; les seuls éléments blancs sont des feldspaths (microcline et albite) et ce sont eux aussi qui remplissent les *jours* du pyroxène ; du sphène rosé, polychroïque, un peu de tourmaline, souvent beaucoup de scapolite, sont encore à signaler.

Les lits micacés diffèrent de la cornéenne normale par la disparition progressive du diopside et par l'accroissement consécutif de la biotite qui arrive à constituer la roche presque seule.

Quand on s'éloigne du contact, on voit la calcite remplacer peu à peu le feldspath, le reste de la roche étant identique au type qui vient d'être décrit, sous la réserve de l'abondance plus ou moins grande d'actinote verte qui est assez rare quand disparaît la calcite.

Je noterai enfin l'existence d'une cornéenne à diopside tachetée par de la biotite aux environs de Bepoa (vallée de la Sahatany), ainsi que la présence, à Maharitra, de cornéennes rubanées que je n'ai pas vues en place et qui paraissent résulter de la transformation d'alternances de calcaires et de lits gréseux.

Il est assez surprenant de constater que dans ces phénomènes de métamorphisme endomorphe dus à l'action chimique des émanations du magma, le bore, qui existait en si grande quantité dans celui-ci, ainsi qu'en témoigne l'abondance de la tourmaline dans la pegmatite, n'a joué aucun rôle apparent et ce fait est à opposer avec l'intense formation d'axinite transformant parfois sur plus de cent mètres des bancs entiers de calcaire (limurite), au contact du granite de la région de Barèges et du pic d'Arbizon[1] ; dans sa masse, le granite n'a retenu aucune portion de ce corps si abondant dans les émanations de son magma, il ne renferme en effet aucun minéral boré.

Je renvoie à la page 314 pour les faibles traces d'endomorphisme constatées dans les pegmatites de Maharitra et de Marirano.

1. A. Lacroix, Le granite des Pyrénées, *Op. cit.*, n° 71, 1900, p. 58.

DEUXIÈME DIVISION

SCHISTES CRISTALLINS

Si, ne se contentant pas de décrire les schistes cristallins, on cherche à les interpréter, des difficultés se présentent, beaucoup plus graves que dans l'étude des roches éruptives et des roches sédimentaires. La constitution minéralogique et la structure des schistes cristallins ne sont pas, en effet, primordiales ; ces roches sont d'origine variée : elles ont subi des transformations minéralogiques, souvent complètes, et une recristallisation a fait disparaître leur structure primitive.

Une fois leur composition et leur structure actuelles établies, leur étude pose donc deux problèmes : 1° la reconstitution de leur origine première, c'est-à-dire la détermination des roches aux dépens desquelles ils se sont produits ; 2° la recherche des conditions ayant présidé à leur reconstruction. L'importance plus ou moins grande donnée à l'un ou l'autre de ces points de vue peut avoir son retentissement dans la nomenclature.

Bien qu'il n'entre pas dans le but de cet ouvrage de discuter des questions théoriques, il est nécessaire d'indiquer en quelques mots comment j'ai considéré celles-ci.

L'origine première d'un schiste cristallin peut être une roche éruptive ou une roche sédimentaire, mais il faut aussi songer au cas de sédiments modifiés chimiquement sous l'influence de magmas éruptifs et encore à celui de roches, éruptives ou sédimentaires, ayant subi, préalablement à leur recristallisation, une décomposition sous l'influence de causes diverses.

Les recherches modernes tendent à montrer que la cause principale de ces transformations, à laquelle, faute de mieux, on peut conserver le nom imprécis de *métamorphisme général,* est due à l'enfoncement, sous l'influence d'actions orogé-

niques, de roches déjà consolidées à une profondeur plus ou moins grande, où elles ont été placées en dehors du domaine de stabilité des minéraux qui les constituaient. Dans ces conditions il s'est produit, sans l'intermédiaire de la fusion ignée, de nouveaux arrangements moléculaires, grâce à des phénomènes de dissolution et de recristallisation. Dans le cas le plus général sans doute, il est inutile de faire intervenir l'action d'éléments étrangers autres que des fluides d'imbibition[1]. On trouvera décrits plus loin de nombreux exemples de roches éruptives ainsi transformées, sans changement de composition chimique. Dans certains cas, cependant, l'intervention de magmas éruptifs, par injection de leur masse ou par imbibition de leurs produits volatils, est venue compliquer le phénomène et établir la liaison entre le métamorphisme général et le métamorphisme de contact. Michel-Lévy attribuait à cette dernière cause une importance d'ordre général[2], je la considère pour ma part comme ayant une importance limitée dans la genèse des schistes cristallins.

Depuis longtemps, les minéralogistes ont constaté que, dans les séries très complètes de schistes cristallins, la cristallinité diminue de bas en haut et, avec la cristallinité, changent la structure et la composition minéralogique, certains minéraux, tels que la muscovite et les épidotes, par exemple, étant localisés à des niveaux déterminés. Les anciens géologues attachaient une notion d'âge à cette succession, ils parlaient de terrain primitif, d'étages des *schistes*, des *micaschistes*, des *gneiss*. Il n'est pas douteux qu'à cette *notion chronologique*, il faille substituer une *notion de profondeur*, non pas de cristallisation, mais de *recristallisation*. Un même type lithologique pouvant avoir un âge très différent dans des régions différentes.

Van Hise[3], M. F. Becke[4] et M. U. Grubenmann[5], en particulier, ont cherché à établir dans cet ensemble des limites rationnelles et des précisions théoriques. Les deux premiers ont considéré deux zones [zone d'*anamorphisme* (à la base) et zone de *katomorphisme* de Van Hise] ; plus récemment, M. Grubenmann a proposé d'en distinguer trois : une inférieure, la plus profonde, caractérisée par sa température plus élevée, par la prédominance de l'action de la pression hydrostatique sur la pression unilatérale ; une zone intermédiaire, moins chaude, où la pression de haut en bas l'emporte sur la pression hydrostatique qui cependant y agit encore, enfin,

1. La puissance de l'eau comme élément agissant dans le métamorphisme invoquée par intuition par Daubrée et Delesse, peut être précisés aujourd'hui, grâce aux recherches d'Arrhenius dont il a été question déjà plus haut (Cf. p. 311).
2. *Bull. soc. géol. de France*, t. XVI, 1887, p. 203, et *C. R. 4e Congrès géol. intern.* Londres, 1888, p. 117.
3. A Treatise on Metamorphism. *U. S. geol. Survey. Monogr.*, t. XLVII, 1904, p. 159.
4. Ueber Mineralbestand und Struktur der Kristall. Schiefer. *Sitzungsb. Wiener Akad.* 1903.
5. *Die Kristallinen Schiefer.* 1910.

une zone supérieure qui se raccorde avec la surface, et dans laquelle la température et la pression unilatérale sont faibles, la pression hydrostatique inopérante.

Dans les deux premières, les actions chimiques sont d'autant plus énergiques que la température est plus élevée ; dans la troisième, les actions chimiques cèdent le pas aux actions mécaniques.

Il est bien entendu que, comme dans tout ce qui concerne les roches, ces distinctions en zones ne doivent pas être considérées comme absolues, mais comme indiquant le sens des phénomènes.

Chacune de ces zones constitue, plus ou moins nettement, le domaine de stabilité de certains minéraux qui ne peuvent dépasser un niveau déterminé sans subir une transformation ; mais il en est (biotite, grenats, magnétite, rutile), qui sont rencontrés indistinctement dans tous les niveaux et d'autres (certaines amphiboles, épidotes) qui se trouvent dans plusieurs d'entre eux seulement. Chacune des zones est en outre caractérisée par des structures spéciales, pour certaines compositions minéralogiques tout au moins [1].

La *zone supérieure* est celle des minéraux hydroxylés lamelleux (chlorites, chloritoïdes, séricite), de l'albite, de la glaucophane et déjà de la hornblende et des épidotes. Les déformations mécaniques (favorisées par la haute teneur en eau), dues à des actions dynamiques sont très nettement observables (structure cataclastique ; mylonite), d'autant plus qu'elles ne sont pas masquées par d'intenses recristallisations ; la schistosité est surtout d'origine mécanique. C'est là essentiellement l'étage des schistes des anciens auteurs.

La *zone moyenne* correspond en grande partie à l'ancien étage des micaschistes. Les minéraux hydroxylés (épidotes et muscovite), les amphiboles, en général, le disthène et la staurotide y abondent. A ce niveau, les plagioclases sont instables ; ils se dissocient en albite et zoïsite (saussuritisation), les feldspaths potassiques se transforment en muscovite. Les minéraux aplatis ou allongés s'orientent dans une direction perpendiculaire à la pression unilatérale (en vertu du principe de Riecke) ; il en résulte la fréquence des structures schisteuse ou orientée, produites par cristallisation, et non plus par actions dynamiques. Peu à peu, de haut en bas, la structure cataclastique disparaît par suite de la recristallisation des débris.

Dans ces deux premières zones, la production des minéraux est influencée par la *loi des volumes* (Toute substance susceptible de prendre plusieurs formes stables, donne, sous la plus forte pression, la forme correspondant au plus petit

1. Cette réserve est nécessaire : certaines roches, telles que les éclogites, par exemple, qui possèdent la structure granoblastique la plus habituelle dans la zone profonde, se rencontrent non seulement dans celle-ci, mais aussi à des niveaux très élevés.

volume ; dans tout échange moléculaire, provoqué par une haute pression, le produit final possède un volume moléculaire moindre que la somme des volumes des composants).

Enfin, la *zone inférieure,* qui correspond essentiellement à l'étage des gneiss des anciens géologues, est caractérisée par les minéraux se formant à la température la plus élevée (sillimanite, cordiérite, spinelles, pyroxènes, plagioclases, orthose et microcline, olivine), et aussi par l'absence de minéraux hydroxylés, autres que la biotite.

Les minéraux ne sont plus allongés et il en résulte une structure en grains (granoblastique), peu ou pas rubanée. Dans cette zone inférieure, les conditions de recristallisation se rapprochent sans doute de plus en plus de celles qui caractérisent la formation du granite et, par suite, les distinctions entre les deux roches s'effacent progressivement.

Sur la base de la notion d'origine, Rosenbusch a proposé [1] de distinguer les gneiss en *orthogneiss* formés aux dépens des roches éruptives et en *paragneiss* produits aux dépens des roches sédimentaires.

Sur la base de la notion de profondeur, M. Grubenmann définit les *katagneiss,* les *métagneiss,* les *épigneiss.*

Laissant de côté ces généralités, je ferai remarquer que j'ai montré plus haut (tome I, p. 21), qu'on peut distinguer, à Madagascar, parmi les schistes cristallins, deux séries principales ; l'une, incontestablement sédimentaire, formée par des schistes, des quartzites, des calcaires, au milieu desquels s'observent des intrusions, des filons de roches éruptives les plus diverses en partie intactes : granites, diorites, syénites, etc., qui ont déterminé des transformations plus ou moins intenses dans les sédiments. Dans tous les termes de cette série, on rencontre localement (pages 438 et 445), des phénomènes cataclastiques, caractéristiques de la zone supérieure et aussi (pages 442 et 448) des transformations minéralogiques graduelles ; celles-ci font naître à leurs dépens des roches qui, dans la classification de M. Grubenmann, sont caractéristiques de la série moyenne. Ces notions m'ont paru précieuses pour interpréter ce qui se passe dans d'autres portions de l'île, où l'on ne peut plus distinguer, sans discussion, l'origine des nombreux types lithologiques qui vont être décrits plus loin.

Sur la côte Nord-Est, abondent, avec absence de sédiments reconnaissables, des amphibolites, des micaschistes, dans lesquels les minéraux hydroxylés, caractéristiques de la zone moyenne, se rencontrent à chaque pas, mais ce qui joue le rôle

1. *Elemente der Gesteinlehre,* 1907.

le plus important dans la constitution de l'île, ce sont des roches franchement gneissiques, appartenant à la zone profonde.

Je me suis attaché particulièrement à chercher à établir dans ces divers types de schistes cristallins la part revenant aux roches éruptives et aux sédiments ; ces roches d'origine différente, soumises aux mêmes actions physiques, ont fourni un ensemble lithologique, remarquablement homogène dans sa structure, malgré sa diversité minéralogique.

Je comprendrai dans les orthogneiss, non seulement, comme le faisait Rosenbusch, les roches éruptives, mais encore celles de ces roches qui avaient subi des altérations chimiques avant leur transformation et aussi les roches de contact modifiées par des apports dus à des magmas profonds. L'emploi de la composition chimique virtuelle peut rendre, dans la discussion de ces questions d'origine, des services analogues à ceux qu'elle rend pour l'étude des roches éruptives. Il est toujours possible d'exprimer la composition d'une roche quelconque, même d'une roche sédimentaire, en fonction des paramètres de la classification chimico-minéralogique, mais pour s'assurer qu'un schiste cristallin dérive bien d'une roche éruptive, il faut faire intervenir dans la discussion, non seulement les rapports cardinaux, mais encore la considération de tous les autres éléments, utilisés ou non dans le calcul de ces rapports.

Nomenclature. — Pour distinguer la structure des schistes cristallins de celle des roches éruptives, M. Becke a proposé une nomenclature dont certains termes seront employés plus loin.

Ce qui distingue essentiellement un schiste cristallin d'une roche éruptive au point de vue de la structure, c'est que les minéraux formés dans un magma fondu ont cristallisé dans un ordre régulier, inverse de celui de leur solubilité dans ce magma ; il existe donc un ordre défini de cristallisation dans les roches éruptives. Un tel ordre ne s'observe pas dans les schistes cristallins.

L'ensemble de ces structures est appelé *cristalloblastique*[1] : quand tous les minéraux sont isométriques (grains arrondis), la structure est dite *granoblastique* (Pl. 27 et 28) ; elle est comparable à la structure granulitique. Elle est dite *némato-blastique,* lorsqu'elle est caractérisée par la prédominance d'un minéral en cristaux allongés (certaines amphibolites), *lépidoblastique* quand dominent les minéraux lamelleux (micaschistes), enfin *diablastique,* lorsque, comme dans certaines amphibolites, deux minéraux s'interpénètrent, l'un d'entre eux (Pl. 28, fig. 3) au moins ayant des formes découpées ou squelettiformes ; la structure

1. Un minéral est dit *auto-* ou *xénoblastique* suivant qu'il a ou non des formes propres.

pœciloblastique est l'équivalent de la structure pœcilitique des roches éruptives.

Quand de grands cristaux apparaissent sur le reste de la roche, moins largement cristallisé, ils sont appelés des *phénoblastes*[1], leur cristallisation est généralement postérieure (comme les cristaux porphyroïdes des roches grenues) à celle des autres éléments de la roche qu'ils englobent poecilitiquement.

La structure *porphyroclastique* est celle dans laquelle de grands débris de cristaux anciens, distribués dans le produit de la trituration de ceux-ci, simulent les phénocristaux des roches éruptives.

Enfin, lorsqu'un schiste cristallin renferme, au milieu d'éléments recristallisés, des restes de la roche primordiale, la structure est dite *à résidu*.

Les chapitres de cette division sont consacrés à la description des roches dont la distribution géographique a été exposée dans le tome I de la page 21 à la page 51.

1. Leur présence caractérise les structures *hétéroblastiques*, ainsi nommées par opposition aux structures *homœoblastiques* ou à grain uniforme.

CHAPITRE PREMIER

GNEISS ET MICASCHISTES

I. — GNEISS A FELDSPATHS POTASSIQUES

Les gneiss prédominant à Madagascar sont formés par l'association du quartz et d'un feldspath potassique (orthose ou microcline), avec ou sans plagioclases ; il existe généralement, au moins une petite quantité, des minéraux colorés, dont le principal est la biotite, parfois accompagnée de hornblende ou de diopside.

Dans le présent chapitre, je m'occuperai de ceux de ces gneiss que je considère comme formés aux dépens de roches éruptives (orthogneiss), mais dont la transformation a été totale. J'y joins en outre les gneiss d'injection par un magma granitique.

A. — *Gneiss alcalins.*

La région granitique, comprise entre la Mania et la Matsiatra, à l'Ouest du méridien d'Ambatofinandrahana, renferme une grande variété de roches potassiques et sodiques, en voie de transformation en roches gneissiques (Cf. p. 377) ; je ne la cite ici que pour mémoire, n'ayant trouvé, notamment dans la région d'Itorendrika, que des roches en voie de transformation granoblastique. Il me paraît très vraisemblable qu'une étude détaillée fera découvrir là de véritables gneiss alcalins ne présentant plus de résidus de la roche originelle. On trouvera plus loin l'analyse (*analyse* **114**) d'un de ces granites rosés de recristallisation gneissique : il établit un terme de passage chimique au groupe suivant.

B. — *Gneiss calco-alcalins.*

Ces gneiss sont de beaucoup les plus abondants dans l'île. Les feldspaths alcalins sont constitués, soit par de l'orthose, soit par du microcline, sans qu'il soit possible de voir la cause de cette différence. Le plagioclase oscille entre les oligoclases et les andésines, et cette variation est généralement accompagnée par la présence et l'abondance de plus en plus grande d'une hornblende d'un vert brunâtre assez polychroïque, et d'un diopside, incolore ou légèrement verdâtre en lames minces. La biotite est toujours le minéral coloré prédominant. La myrmékite est assez fréquente ; parmi les minéraux accessoires (apatite, zircon, sphène), il faut citer dans un grand nombre de gisements l'allanite (Anosibe, Vatomarivo) et surtout la magnétite qui forme des octaèdres, souvent de grande taille, à plans de séparation a^1 faciles ; aux affleurements, elle est généralement plus ou moins transformée en martite. La structure est granoblastique, avec parfois allongement des grains de feldspaths et de quartz dans le sens du rubanement ou de la schistosité.

De nombreuses variétés minéralogiques et structurales existent dans les gneiss calco-alcalins ; je vais les passer successivement en revue.

a. — **Gneiss granitoïdes.**

Je désigne sous ce nom des roches pauvres en minéraux colorés ; ceux-ci sont orientés suivant des directions parallèles, mais sans constituer de lits distincts continus, de telle sorte qu'il est souvent malaisé, sur un échantillon déterminé, de distinguer ces roches des granites ; l'orientation est cependant très nette quand on voit la roche en place et elle s'accentue naturellement dans les portions où se concentrent les minéraux colorés. On peut, dans bien des cas, se demander si l'on n'est pas en présence d'un granite présentant un rubanement originel ; je ne pense pas cependant que ce soit là une explication plausible, la structure granoblastique microscopique étant aussi nette et aussi régulière que dans les gneiss dans lesquels il est possible de suivre les étapes successives de la genèse aux dépens de granites écrasés.

Les diverses modalités de ce type de gneiss peuvent être notamment étudiées dans le voisinage de Tananarive, et aussi entre cette ville, Ankazobe et Anjozorobe.

Ces gneiss sont quelquefois totalement dépourvus de minéraux colorés, autres

que la biotite ; tel est le cas des gneiss aurifères de la Mandraty (avec or visible), d'Antsolabato, d'Ankafotra (riches en pyrite), du Betsiriry [Andasivao avec orthose, Ankarongana (avec microcline et mispickel au voisinage des lits aurifères] ; ce type passe aux leptynites qui vont être décrites plus loin.

Mais le plus souvent, il existe une petite quantité de hornblende et de diopside : Sakareza (Sud-Est d'Ambakirano) ; forêt de l'Est entre le lac Alaotra et Mahambo (près Manambato, Anosibe, etc.) ; région de Tananarive, Ambohijahanary, Tsarazafy (*analyse* **122**) (accompagnée en gneiss à cordiérite) ; Ambatolampy ; Mandray, à l'Est d'Antsirabe ; Iloma, aux sources de l'Ifempina ; Valosy, sur un affluent du Matitanana ; Andriana, près de la première chute du Namorona (Ambohimahasoa) (*analyse* **116**) ; près Brickaville (avec grenat, *analyse* **115**) : Ranopiso à Behara (Androy), Androtabe après Makaraingo (*analyse* **119**).

Gneiss rubanés. — Ce gneiss diffère du précédent en ce que les minéraux colorés y sont plus abondants et concentrés dans des lits distincts, continus, suivant lesquels la roche peut être débitée plus ou moins facilement.

Beaucoup de ces gneiss sont encore des orthogneiss, mais il se trouve parmi eux beaucoup de types d'injection, dans lesquels les lits successifs ont des compositions différentes ; certains étant essentiellement feldspathiques (granites ou pegmatites injectés) et d'autres plus micacés (sédiments exomorphisés) ; ces divers lits ont souvent aussi une coloration différente, rose par exemple dans les parties injectées et blanche dans les autres.

Voici quelques exemples de ces roches : forêt de l'Est [Ambohibe larges lames de biotite ; Tsarasambo (type un peu amphibolique, *analyse* **123**), à l'Est du lac Alaotra (hornblende verte et biotite enveloppant feldspaths orientés, donnant un rubanement plutôt qu'une schistosité)] ; Anosibe à l'Ouest de Mahambo (*analyse* **126**) ; Sud-Ouest de Sakadimy (Sud-Ouest du lac Itasy) ; Mandiavato (Sud-Est de Miarinarivo) ; Nord d'Ivato (Sud d'Ambositra) ; Est de Miandrivazo ; route de Tranoroa à Tsimilofo (notamment à Andamilamy) (type un peu amphibolique) ; falaises de Vangaindrano (type à biotite, diopside et graphite (*analyse* **118**) renferme des nodules dépourvus de quartz, constitués par du diopside, de la biotite, du graphite et un peu de plagioclase ; ce gneiss contient des intercalations de pegmatite à biotite).

b. — Gneiss très micacés.

Dans ce type, la biotite devient plus abondante encore et cette variété constitue un passage aux micaschistes ; elle est surtout réalisée dans les gneiss d'injection ; dans ce cas, les lits les plus feldspathiques peuvent résulter d'injections antérieures

à la gneissification, ils sont alors exclusivement intercalés entre les strates schisteuses et ont une structure granoblastique, mais dans d'autres cas, l'injection a été plus tardive, les filonnets de pegmatite ou de granite sont parallèles, perpendiculaires ou obliques aux strates. L'abondance de la biotite est souvent accompagnée par celle de sphène, d'ilménite, d'apatite, de hornblende verte et de diopside.

On peut distinguer trois variétés principales. La première, encore assez feldspathique, est rubanée ou schisteuse : Ambatomenaloha près Ivato, au Sud d'Ambositra [type amphibolique, riche en sphène, présentant de grandes variations minéralogiques dans les lits successifs (*analyse* **117** d'un type moyen) ; ce gneiss est traversé par des filons d'aplite] ; près Manambato (lits dans gneiss peu micacés) ; région de Maevatanana; Mont Betsiady, au Nord d'Antsalonja (région du Nord-Ouest).

Une autre variété est dépourvue de rubanement ; elle a l'aspect d'une cornéenne de contact; c'est un type d'injection qui constitue fréquemment des enclaves dans le granite : entre Morafeno et Daraina sur le Manambato : massif de l'Andringitra ; Karianga (rive droite de la Rienana).

Enfin une dernière variété, particulièrement riche en biotite et très schisteuse, passe aux micaschistes, elle est fréquente dans les gneiss injectés ; de magnifiques coupes de gneiss de ce type, traversés en tous sens par des veines granitiques, se voient sur la route d'Antsirabe au Mont Vontovorona. A citer encore Ifempina ; le Massif de l'Andringitra ; la Haute Mianjona (au voisinage du granite des Monts Olotsingy).

Au milieu de gneiss peu micacés, il existe parfois des lits très riches en mica, à rapporter à ce type, et pouvant renfermer des accumulations de grandes lames de biotite presque pures (Ambavanala et Antarambilo, près Sahatavy à l'Ouest de Fénérive).

c. — Gneiss à structure à résidu.

Dans toutes les roches qui viennent d'être décrites, la recristallisation granoblastique a été totale ; nombreux sont, à Madagascar, les points où il est possible de trouver des gneiss, possédant une structure à résidu qui permet de suivre les étapes de la transformation du granite en gneiss. Je ne reviendrai pas sur ces *gneiss à structure porphyroclastiques*, sur ces *gneiss œillés* dont j'ai étudié déjà des exemples à la page 443. Je rappellerai seulement que la région d'Ambatofinandrahana, celle des Vavavato (*analyse* **120**), sont de celles qui me paraissent les plus intéressantes à ce point de vue.

d. — Gneiss sans mica (leptynites).

Les leptynites sont essentiellement constituées par des feldspaths alcalins et du quartz. Le grenat rose (almandin-pyrope) est fréquent, il peut devenir très abondant dans des roches que nous retrouverons plus loin et qui sont certainement, au moins en partie, des sédiments métamorphisés, tandis que les types non grenatifères ou très peu grenatifères dérivent généralement de granites leucocrates ou d'aplites.

A Madagascar, les leptynites sont d'ordinaire à grain fin ; leur structure est nettement granoblastique ; l'orthose, parfois vermiculée d'anorthose (entre Betroka et Itrongay), est généralement associée à de l'albite ou à de l'oligoclase-albite ; la myrmékite n'est pas rare. Les minéraux accessoires sont nombreux et variés : apatite, zircon, magnétite, ilménite, tourmaline. L'apparition de biotite conduit aux gneiss.

Quand ces roches ne sont pas rubanées, et cela est fréquent, il est souvent difficile de décider si un échantillon, non vu en place, appartient à une leptynite ou à une aplite ; il faut remarquer seulement, qu'à Madagascar, ces dernières renferment du microcline et non pas de l'orthose. L'extrémité méridionale de l'île, l'Androy, le pays Mahafaly, et aussi la région comprise entre Betroka et Itrongay constituent la région la plus caractéristique des leptynites ; elles jouent un rôle considérable dans la constitution de ces régions, mais on en trouve ailleurs.

Comme exemple de leptynite de composition simple, je citerai des roches rosées, rubanées grâce à l'orientation du quartz, qui affleurent le long de la Mananjeby, entre Ambakirano et l'Andrahara. Des leptynites blanches, à aspect de quartzites, très pauvres en grenat, se trouvent à Antsingy, sur la rive droite de la Belobaka, affluent de l'Ianapera.

Une variété très compacte et une autre à gros grain, forment des blocs dans la tillite de la vallée de l'Imaloto (biotite chloritisée). Une leptynite à grain extrêmement fin, rappelant un grès, constitue des pitons aigus à l'Ouest de Vohémar ; elle renferme un peu de plagioclase, de biotite et de sphène.

Dans le pays Mahafaly, on observe des paillettes de graphite dans les leptynites.

J'ai signalé déjà page 366, l'association aux leptynites de roches de même composition, mais à gros éléments, de véritables pegmatites ; elles sont fréquentes dans l'Androy.

Entre Androngovato et Itrongay, se rencontre une leptynite d'un blanc verdâtre renfermant un peu de diopside d'un vert clair.

e. — Gneiss syénitiques.

J'ai observé une roche singulière provenant des environs du village de Tsaratanana ; d'un blanc jaunâtre, elle renferme des lits discontinus de petites paillettes de biotite qui lui donnent une structure rubanée. Cette roche est formée de microperthite fusiforme granoblastique, associée à des paillettes de biotite et à quelques cristaux poecilitiques de hornblende, d'un vert foncé. L'analyse de cette roche sera donnée dans l'Appendice du tome III. Peut-être faut-il la rapprocher des types dérivant des syénites de la région d'Ambatofinandrahana.

De même, une roche métamorphique énigmatique est intercalée entre les micaschistes et les quartzites de la mine de cuivre d'Ambatovarahina, près d'Ambatofangehana. Peu cohérente, elle est formée de petits grains de microcline, de lamelles de biotite d'un brun verdâtre et de magnétite, avec, çà et là, des lames porphyroblastiques de muscovite et des octaèdres de magnétite atteignant un centimètre : à l'inverse de la précédente, cette roche provient de la zone moyenne des schistes cristallins.

Parmi les roches de contact endomorphiques du granite se trouvent de véritables gneiss syénitiques à corindon et sillimanite.

f. — Composition chimique.

Les analyses de quelques gneiss malgaches données ci-contre (M. Raoult) permettent de grouper ces roches en deux séries qui correspondent, respectivement, à celles qui ont été distinguées parmi les granites et qui légitiment ma conclusion de les considérer comme des *orthogneiss*.

Une première série, que j'appellerai *monzonitique*, comprend les termes suivants :

114) *Gneiss peu micacé* : Ouest Itorendrika, I.'4.(1)2.3' ; **115**) *Gneiss* de Brickaville (à peine rubané ; la biotite est distribuée par taches plutôt que par lits, avec quelques gros phénoblastes de grenat) I'.4.2.'3 ; **116**) *Gneiss rubané*, Andriana (chutes du Namorona), I(II).3'.(1)2.'3 ; **117**) *Gneiss très micacé*, Ambatomenalaha (près Foulpointe, II.4.2(3).3' ; enfin, **118**) *Gneiss un peu schisteux* (riche en biotite et diopside, avec quelques paillettes de graphite), Vangaindrano, II.5.3.2 ; l'échantillon analysé est riche en biotite, aussi le quartz est-il presque dissimulé dans le calcul (comme dans le cas de la vaugnérite) qui donne des paramètres, correspon-

dant à une *monzonite* ; quelques unités de silice pour 100 en moins, conduiraient à la composition d'une roche à leucite ou d'une sommaïte.

	114	115	116	117	118
SiO^2. . .	74,22	70,42	70,54	57,48	54,08
Al^2O^3. . .	13,23	14,00	10,02	13,48	12,57
Fe^2O^3. . .	1,97	0,65	4,47	4,93	2,68
FeO. . .	0,42	1,83	3,18	5,32	6,08
MgO. . .	0,36	0,11	0,21	2,88	6,54
CaO. . .	1,48	3,12	3,62	5,84	10,86
Na^2O. . .	3,88	2,74	2,23	3,01	1,06
K^2O. . .	4,35	5,74	4,52	3,31	4,61
TiO^2. . .	tr.	1,06	0,81	2,82	1,02
P^2O^5. . .	0,04	0,08	0,21	0,84	0,16
H^2O +. . .	0,27	0,14	0,31	0,34	0,51
—. . .	»	0,24	»	0,04	0,03
	100,22	100,13	100,12	100,29	100,20

La série suivante est comparable aux différents termes des *granodiorites*, depuis les types peu calciques qui se rapprochent des akérites quartziques, jusqu'à ceux qui sont riches en chaux et qui, par diminution de la silice libre et de la potasse, conduisent aux types franchement dioritiques, représentés par les gneiss à plagioclases, étudiés page 507.

119) *Gneiss peu schisteux*, fond de la vallée d'Androtabe, I'.4.2.'4 ; **120**) *Gneiss à résidu*, Sommet des Vavavato, 1.'4.2.4 ; **121**) *Gneiss schisteux*, Anosibe (Ouest Mahambo), 'II.4'.2'.'4 ; **122**) *Gneiss non rubané*, Tsarajafy ; **123**) *Gneiss amphibolique et micacé*, Tsarasambo, II.4'.2(3).4.

	119	120	121	122	123
SiO^2. . .	71,28	71,22	64,08	63,50	59,44
Al^2O^3. . .	13,83	15,02	15,62	10,66	14,19
Fe^2O^3. . .	1,43	1,58	1,87	7,31	2,71
FeO. . .	2,18	1,02	3,72	2,76	6,10
MgO. . .	0,86	0,39	1,94	3,45	3,27
CaO. . .	1,98	2,28	4,40	2,86	5,78
Na^2O. . .	4,48	4,57	4,27	3,81	3,58
K^2O. . .	3,32	2,99	3,15	3,72	2,40
TiO^2. . .	0,37	0,04	0,42	1,22	1,38
P^2O^5. . .	0,13	0,29	0,18	0,17	0,71
H^2O +. . .	0,03	0,61	0,42	0,71	0,46
—. . .	0,16	0,15	0,14	0,07	0,08
	100,05	100,16	100,21	100,24	100,10

II. — GNEISS ALUMINEUX, MICASCHISTES, PHYLLADES.

Dans ce paragraphe, je réunis des schistes cristallins qui, avec une composition minéralogique différente, présentent généralement une composition chimique

analogue ; ils résultent pour la plupart de la transformation métamorphique de sédiments très alumineux, argiles, schistes argileux, ayant parfois subi un premier métamorphisme de contact antérieurement aux phénomènes qui les ont transformés en schistes cristallins. Ils se trouvent à des niveaux différents de ceux-ci, ce qui explique ces différences minéralogiques.

Au point de vue chimique, ces roches possèdent la caractéristique commune de renfermer une quantité souvent importante d'alumine non feldspathisable qui se traduit minéralogiquement, non seulement par l'abondance de micas, mais souvent aussi par la présence de minéraux très riches en alumine : sillimanite, disthène, cordiérite, grenat ; ceux-ci peuvent jouer un rôle suffisamment important pour constituer des variétés lithologiques distinctes.

Les *gneiss*, caractérisés par l'association du quartz à des feldspaths, peuvent passer à la série précédente, c'est particulièrement le cas pour les types d'injection.

La caractéristique des *micaschistes* réside dans l'absence de feldspaths ; ils sont essentiellement constitués par des micas, généralement associés à du quartz, bien qu'il existe des micaschistes dépourvus de ce minéral. Quand, au contraire, le quartz prend un grand développement, la roche passe aux *quartzites* micacés, de même que l'apparition de feldspaths établit le passage aux *gneiss surmicacés* décrits plus haut.

A. — *Gneiss alumineux et micaschistes à biotite.*

Les gneiss riches en alumine et les micaschistes à biotite sont fréquemment associés à Madagascar, aussi ne séparerai-je pas leur étude. Parmi les gneiss, je n'insisterai que sur ceux renfermant quelque minéral spécial. Les gneiss simplement micacés ne se distinguent guère de ceux décrits plus haut que par leur composition chimique. L'*analyse* **126** donne une idée de celle-ci.

a. — **Micaschistes à biotite.**

Les micaschistes de la série ancienne, souvent un peu feldspathiques, sont très fréquemment riches en graphite et la plus grande partie des gisements exploités pour l'extraction de ce minéral se trouvent au milieu d'eux. Ces roches étant d'ordinaire profondément altérées à leurs affleurements, je n'ai pas cherché à distinguer les gisements des micaschistes de ceux des gneiss surmicacés dont il est question page 481.

Des micaschistes à biotite existent aussi dans une zone plus élevée des schistes

cristallins, où ils sont associés à des micaschistes à muscovite. On y rencontre des types presque exclusivement micacés et d'autres très quartzeux (côte vis-à-vis l'île Sainte-Marie ; l'Est et le Sud-Est d'Antsirabe avec prolongement au Nord : la région de Moramanga). Ces micaschistes sont très plissés, très riches en biotite, ils contiennent fréquemment de la tourmaline et du grenat ; massif du mont Bity (au mont Tsilaizina, existent des micaschistes essentiellement constitués par de très larges lamelles de biotite ; ils renferment des intercalations d'une roche à cordiérite et anthophyllite).

b. — Gneiss et micaschistes grenatifères.

α. **Gneiss.** — Le type le plus fréquent est un gneiss riche en biotite, dans lequel un grenat rouge (almandin-pyrope) se présente, sous forme de petits grains, ou à l'état de gros porphyroblastes, généralement dépourvus de contours géométriques, le plagioclase (oligoclase à andésine) est le feldspath dominant et parfois exclusif : région d'Andavakoera ; Imerintsiatosika, à l'Ouest de Tananarive, etc.

Sur le bord occidental de la chaîne cristalline faisant face à l'ancien poste de Bemavo (10 kilomètres Sud du Mangoky du Nord), des gneiss très grenatifères sont pauvres en orthose et très quartzeux ; la biotite est accompagnée de graphite. Cette roche a subi des actions dynamiques et ses plans de fissilité sont bosselés par suite de l'existence des gros grains de grenat. Un gneiss analogue affleure sur les bords de l'Onilahy, à 10 kilomètres en amont de Benenitra, l'oligoclasse accompagne l'orthose ; le grenat est exceptionnellement abondant dans certains lits. Dans la même région, le long de la Beandry, entre Isafary et Anarabemoka, des gneiss peu micacés et par suite non schisteux, mais rubanés, sont riches en petits grenats de 1 à 2 millimètres qui englobent poecilitiquement tous les autres minéraux (orthose, oligoclase-andésine, quartz et rutile) (*analyse* **124**).

Je connais un gneiss très micacé, riche en almandin-pyrope à Antsanira (Mahafaly). Sur la rivière Ankazomanga, près Ibeandry ambany, les gneiss renferment des lits pegmatiques, très riches en gros cristaux (b^1) de grenat.

C'est la décomposition de tous ces gneiss grenatifères qui met en liberté dans la terre rouge les grenats qui sont si abondants dans la région où ils se rencontrent.

Un gneiss très grenatifère de Besakay (3 kilomètres Nord d'Amparihy, dans la province de Farafangana) ne renferme que peu de biotite à peine orientée (*analyse* **125**).

Kinzigite. — Les gneiss qui viennent d'être énumérés présentent une structure schisteuse très nette, due à l'abondance de la biotite. Il me reste à signaler un type assez fréquent, notamment en blocs, dans le lit de l'Imaloto ; il présente, au contraire, un aspect compact, grâce à la prédominance de gros grenats, sans forme géométrique, associés à du quartz et à des feldspaths granoblastiques ; la biotite est peu abondante. La structure rappelle celle des cornéennes micacées de contact du granite. Ce gneiss peut être comparé à la *kinzigite* de la Forêt Noire.

β. **Leptynites très grenatifères.** — Dans l'Androy et dans le pays Mahafaly, abondent des leptynites extrêmement riches en grenat d'un rose pâle (almandin-pyrope), avec souvent du rutile et du graphite. Le feldspath est de l'orthose, associée à de l'oligoclase-albite et parfois (entre Betroka et Itrongay) de la microperthite fusiforme ; il existe beaucoup de myrmékite. Ces roches sont à grain fin, mais elles renferment très fréquemment de gros cristaux de grenat régulièrement distribués : Ampanihy (*analyse* **129**), sur la route d'Itrobeka, Soamanonga, Bekitro, Ankofehy (Nord de Bekily) ; entre Itrongay et Betroka (*analyse* **128**).

D'ordinaire, le grenat n'a pas de formes géométriques, mais il prend des faces nettes (b^1 a^2) dans des zones plus quartzeuses : lit du Manambovo, à Sakaroa (5 kilomètres Ouest de Tsiombe). De même, sur la rive gauche de Vatonalihala, près Mahabo (entre l'Onilahy et la Linta), dans une leptynite pauvre en quartz se trouvent des grenats de près de 1 centimètre, à faces b^1 irrégulières. Certains lits sont riches en orthose, alors que dans d'autres prédomine le quartz, mais dans les uns et les autres, il peut exister beaucoup de sillimanite et de rutile. Entre Bevolana et Tsianarena, des leptynites analogues renferment de l'oligoclase et un peu de biotite.

Dans l'Imaloto, des leptynites compactes à aspect de quartzite, renferment de gros phénoblastes de grenat d'un rose pâle ; le feldspath est de l'orthose. Sur les berges de l'Amparasaka (route d'Andamilamy à Befotaka), se trouve une leptynite très tenace, riche en grenat, ressemblant à un quartzite grenatifère, dans laquelle le microscope montre une teneur notable en feldspaths.

Dans l'Androy et le pays Mahafaly, se trouvent des leptynites peu grenatifères qui se distinguent de celle décrite plus haut par l'existence de hercynite, de sillimanite accompagnant le quartz.

γ. **Micaschistes grenatifères.** — Les leptynites dérivent des granites par disparition du mica ; les micaschistes grenatifères constituent le pôle opposé dans lequel la biotite prédomine, avec disparition progressive du feldspath.

Là encore, le grenat est l'almandin rouge (Soaviambo, etc.) ; quand il est très abondant, la forme globulaire de ses cristaux masque la schistosité de la roche ; tel est le cas d'échantillons que j'ai recueillis près d'Antanety, entre Tsinjoarivo et Maizimanjaka, au Sud-Ouest de Betafo. Par contre, au Sud-Est d'Antsirabe, notamment à Ankazondrano, des lits de micaschistes à grenat, alternant avec des micaschistes à corindon, conservent une schistosité nette, mais ils sont rendus noueux par l'abondance de gros grenats, associés à de la tourmaline. Dans un micaschiste du district de Betafo (2 kilomètres Ouest d'Ambodivohitra (Sud de Laondany) et 2 kilomètres du Nord-Est d'Ambalahady), sont disséminés des trapézoèdres d'almandin avec des formes très nettes.

Des micaschistes à gros grenats sont à signaler dans la région de Manantenina, à Berakoana, au Sud de Berakoa.

Les micaschistes à grenat renferment parfois, comme accident, des grenatites formées presque uniquement de quartz et d'almandin rouge[1]. Telle est sans doute l'origine d'une roche que m'a communiquée M. Rossi qui l'a recueillie sur les bords de la Manambaroa au Sud-Ouest de Midongy ; par altération, elle donne des boules presque sphériques dont le centre est intact. Une grenatite analogue se rencontre à Ankadinandriana près Tsiafahy.

c. — Gneiss et micaschistes à silicates d'alumine.

α. **Gneiss à sillimanite.** — En général, dans les gneiss à sillimanite, ce minéral se présente sous la forme de petites baguettes à contours nets, de quelques millimètres de largeur dont le clivage h^1, nacré et éclatant, brille sur les cassures fraîches. Ces gneiss sont assez fréquents dans l'Androy, notamment entre Bekily et Tsiombe ; la sillimanite est d'ordinaire concentrée dans des lits micacés, alors qu'elle manque dans ceux qui sont dépourvus de mica. Sur les cassures perpendiculaires à la schistosité, les cristaux de sillimanite donnent à la roche un aspect fibreux, alors que pour obtenir de beaux clivages, il faut rechercher les cassures parallèles à la schistosité.

Les roches dont il vient d'être question ne renferment pas de grenat, mais il existe un autre type qui, au contraire, est extrêmement grenatifère et qui établit par conséquent le passage aux gneiss à grenats décrits plus haut.

A Soavinarivo, un gneiss à sillimanite très micacé et riche en plagioclase renferme des porphyroblastes d'almandin.

1. Des grenatites de ce genre se rencontrent en France dans les micaschistes des Maures, notamment à Collobrière.

A Antafiamalama, dans les gorges du Menarandra, et aussi sur la rivière Sakalalina, affluent du Zomandao, des gneiss à sillimanite de ce genre, très quartzeux et peu micacés, sont remarquables par l'abondance de gros porphyroblastes de grenat rouge : le feldspath, assez rare, est de l'orthose. Dans la première de ces localités, le graphite est aussi abondant que la biotite.

Les mêmes roches, moins feldspathiques encore, et dans lesquelles le grenat est uniformément réparti, sont très répandues entre Zazafotsy et Amboanana ; certains lits sont de véritables quartzites à sillimanite : d'autres ne renferment presque que ce dernier minéral, avec parfois beaucoup de magnétite en gros cristaux alignés au milieu des baguettes du silicate d'alumine. Dans un gneiss du même genre du mont Belamboany, près Zazafotsy, le feldspath est de l'andésine.

Enfin une variété également pauvre en mica, très compacte, fort riche en grenat, contient en outre de la cordiérite (entre la Sahambana et l'Ihosy ; Est de Betroka, sur le ressaut limitant l'Horombe vers l'Ouest). Dans cette dernière région, il existe aussi des roches exceptionnelles, constituées par du grenat et de la sillimanite dont les gros grains, intimement associés à de la magnétite, forment des micropegmatites avec de petites plages de cordiérite ou de feldspath. Il n'existe que, çà et là, quelques paillettes micacées (*analyse* **129**).

β. **Micaschistes à sillimanite.** — Ce type de micaschistes est très abondant, il passe progressivement aux gneiss ou aux quartzites ; la sillimanite y existe à l'état de *fibrolite*, en petites aiguilles extrêmement fines, se réunissant parfois en nodules ou même en grosses masses comme dans les quartzites décrits plus loin ; cette roche est très altérable ; lorsqu'elle est riche en biotite et pauvre en quartz et qu'elle est devenue tendre par suite de décomposition, elle se taille au couteau et constitue en partie le *vatodidy* des Malgaches. Les fibres blanches de sillimanite ressortent sur le fond argileux rougeâtre ; elles sont, avec le quartz, le seul minéral non altéré de la roche. Ces micaschistes doivent souvent leur haute cristallinité à l'action d'intrusions granitiques. A signaler comme gisements : Ambalavao, Ankazondrano, Ambatodidy (vallée de la Sahatorendrika), le mont Ampanobe, etc.

γ. **Micaschistes à sillimanite et corindon.** — Ces micaschistes qui constituent le gisement principal du corindon exploité à Madagascar, ont été déjà décrits page 465 ; je n'y reviendrai donc pas, me contentant de rappeler qu'ils sont différents des précédents par l'existence, non seulement de phénoblastes de corindon pouvant atteindre un décimètre, mais encore par du corindon microscopique.

d. — Gneiss et micaschistes à cordiérite.

α. **Gneiss.** — Ces gneiss sont d'ordinaire peu schisteux ; l'abondance de la cordiérite leur donne une coloration foncée, noirâtre ou verdâtre, ils ont la composition des gneiss à biotite, avec, en plus, de la cordiérite dont les grandes plages englobent poecilitiquement tous les autres minéraux : le graphite est fréquent. J'ai rencontré ce type particulièrement frais sur les bords de l'Ikopa, contre l'usine de traitement du graphite de Tsarazafy ; le feldspath est du microcline.

De beaux types de gneiss à cordiérite violacée (renfermant des auréoles polychroïques autour du zircon et des macles polysynthétiques), avec sillimanite, spinelle vert et magnétite, abondent en amont de Iamanda, sur la rive gauche de l'Ihosy.

Dans les gneiss dépourvus de cordiérite sont parfois intercalés des lits ou des amandes de quartz, renfermant de la cordiérite bleue, accompagnée de sillimanite (falaise d'Ampamarinana à Tananarive).

Les gneiss à cordiérite sont peut-être plus abondants à Madagascar que ne pourrait le faire supposer le nombre des observations qui viennent d'être relatées, mais la cordiérite s'altérant facilement peut passer inaperçue. Je dois faire remarquer toutefois que je n'ai trouvé qu'un seul exemple de ces altérations de la cordiérite si fréquentes dans les régions tempérées ; il s'agit d'un échantillon recueilli en amont de l'embouchure de l'Ivato ; c'est une roche noire, riche en graphite, au milieu de laquelle se distinguent de petits prismes raccourcis blancs, à cassure terne, pseudomorphoses, cloisonnées, de cordiérite en une argile faiblement biréfringente. Il existe un peu de sillimanite et de quartz.

β. **Leptynites.** — A l'Ouest d'Elakelaka, sur les bords de la Mananara (sur la route de Tsilamaha), se rencontre une leptynite, rubanée par suite de la concentration de cordiérite violette et de grenat rosé dans des lits distincts d'autres, très quartzeux. L'examen microscopique montre en outre la présence de spinelle vert, d'un peu de sillimanite, d'apatite et de zircon : les macles de la cordiérite sont remarquablement nettes. Le feldspath est une microperthite fusiforme, le quartz forme des vermiculisations dans la cordiérite (*analyse* **130**). Une leptynite moins riche en cordiérite, mais contenant beaucoup de grenat rouge et un peu de biotite a été rencontrée entre Fort-Dauphin et le col d'Isaka. A Berongo, la cordiérite forme dans une leptynite jaunâtre des taches noires ou verdâtres ;

elle se montre au microscope riche en macles en roue ; elle est associée à du spinelle et à de la magnétite.

A Eminiminy, il existe une roche à grands éléments presque exclusivement formée par de la cordiérite, violette et transparente sur une petite épaisseur, associée à de la pyrrhotite et fort peu de quartz. Dans la même région (au pied du col), des accidents minéralogiques sont constitués par du spinelle vert, de la sillimanite et de la magnétite. Des nodules constitués par de la cordiérite, du spinelle et du quartz ont été recueillis à la surface du sol près de la Ranobe, au Sud. de Mahaly. La caractéristique de la cordiérite de ces roches à grands éléments est sa fraîcheur parfaite, la rareté et souvent le peu d'intensité des auréoles polychroïques. Enfin, les macles polysynthétiques se font toujours suivant des faces *m* parallèles, de telle sorte que leur aspect rappelle celui d'un plagioclase. Le spinelle moule généralement les grands cristaux de cordiérite.

Ces leptynites, très riches en cordiérite, constituent un type nouveau qui est l'équivalent des gneiss à cordiérite dans la série des gneiss à biotite. Au point de vue chimique, il est comparable aux leptynites à prismatine de Saxe.

γ. **Micaschistes.** — J'ai recueilli vis-à-vis d'Antanety (sentier de Betafo à Anjanabonoina) et associé aux micaschistes à grenat dont il est question plus haut, un micaschiste à biotite extrêmement riche en petits cristaux bleus de cordiérite de 2 à 3 millimètres : ce minéral y est d'une fraîcheur absolue.

Au mont Tsilaizina, les lits de quartz à cordiérite, quelquefois associés à l'anthophyllite, peuvent être considérés comme une sorte de variété pegmatique de micaschiste à cordiérite.

e. — Gneiss syénitique à spinelle.

Cette roche a été trouvée à Tranomaro (Androy) ; elle est rubanée ; le feldspath est de l'orthose, accompagnée d'un peu d'oligoclase ; le spinelle vert foncé est intimement associé à de la magnétite. Elle se distingue des précédentes par l'absence du quartz.

f. — Composition chimique des gneiss et micaschistes alumineux.

Les quelques analyses suivantes de gneiss grenatifères confirment les résultats de l'examen microscopique, et en particulier la prédominance des plagioclases parmi les feldspaths ; l'origine sédimentaire (sédiments argileux modifiés) est mise en évidence par la constance de l'excès d'alumine.

124) *Gneiss* peu micacé, entre Isafary et Anarabemoka ; **125**) *Gneiss très grenatifère*, Besakay, 3km,6 au Nord d'Amparihy ; **126**) *Gneiss* très micacé, rivière Sakalava au Sud de Benenitra ; **127**) roche riche en grenat et en sillimanite, pauvre en feldspaths, Ouest de l'Horombe.

	124	125	126	127
SiO^2	69,52	69,02	61,48	28,88
Al^2O^3	12,72	14,05	14,01	39,41
Fe^2O^3	4,32	2,16	6,66	16,39
FeO	2,82	2,89	3,85	5,65
MgO	1,91	1,65	4,53	4,39
CaO	3,38	3,42	3,92	0,74
Na^2O	2,01	3,15	1,74	0,29
K^2O	1,45	1,42	1,89	0,11
TiO^2	1,82	1,41	1,71	3,38
P^2O^5	0,29	0,11	0,31	0,09
H^2O +	»	0,31	0,11	0,51
—	0,09	0,09	0,15	0,17
	100,33	100,08	100,36	100,01 [1]

Les trois analyses de *leptynite grenatifère* (*e* et *f*) ou renfermant de la cordiérite, sont au contraire caractérisées par la prédominance des feldspaths alcalins : l'excès d'alumine croît de **128** à **131** : les roches originelles ont sans doute été des arkoses plus ou moins argileuses, ou des sédiments argileux modifiés par contact pneumatolytique du granite.

Leptynites, **128**) *peu grenatifère*, entre Betroka et Itrongay (M. Raoult) I. 3(4). 2. (2)3 ; **129**) *très grenatifère*, environ d'Ampanihy (Boiteau) ; **130**) *à cordiérite* (M. Raoult) Ouest d'Elakelaka ; **131**) *Micaschiste* très quartzeux à sillimanite, Bekily.

	128	129	130	131
SiO^2	73,26	54,88	53,32	81,08
Al^2O^3	13,18	18,74	22,78	6,53
Fe^2O^3	2,23	2,09	6,73	1,85
FeO	1,11	9,84	6,36	2,57
MgO	0,43	5,23	2,93	2,67
CaO	1,56	2,46	1,36	0,74
Na^2O	2,32	2,34	1,06	1,16
K^2O	5,23	2,21	3,26	2,54
TiO^2	0,22	1,28	1,48	0,39
P^2O^5	»	0,28	0,09	0,17
H^2O +	0,53	0,54	0,89	0,26
—	»	0,09	0,07	0,25
	100,07	100,25 [1]	100,33	100,21

1. Y compris MnO 0,27.

e. — Gneiss à graphite.

Parmi les variétés de gneiss, non plus structurales, mais d'ordre minéralogique, la plus intéressante, au point de vue pratique, est celle qui est caractérisée par la présence du graphite. J'ai indiqué déjà que je considère ce minéral comme résultant de la transformation de matière charbonneuse, renfermée dans la roche sédimentaire originelle. C'est donc dans les paragneiss que se rencontre surtout ce minéral. Mais il existe aussi dans les gneiss d'injection, non seulement dans les lits d'origine sédimentaire, mais aussi, par endomorphisme, dans les lits granitiques injectés (gneiss de Bekily, à microperthite fusiforme). Je ne connais aucun exemple de graphite distribué régulièrement dans les gneiss que je considère comme étant formés aux dépens du granite. Malheureusement, l'altération des gneiss exploités est si grande qu'il n'est pas facile de trouver des échantillons permettant d'étudier leurs feldspaths, et de faire la part exacte de ce qui revient aux gneiss franchement alumineux et aux gneiss d'injection étudiés dans le chapitre précédent.

Cette particularité de l'altération des gneiss à graphite est intéressante à relever ; on sait en effet que dans beaucoup de gisements allemands analogues (Bavière), où la kaolinisation des feldspaths est très intense, certains auteurs ont voulu la lier à la genèse du graphite. Une semblable opinion qui me paraît inexacte pour les gisements européens l'est incontestablement pour ceux de Madagascar dans lesquels l'altération se présente avec les mêmes particularités que dans les roches dépourvues de graphite.

D'une façon générale, la teneur en graphite d'un gneiss n'est jamais uniforme sur une grande surface. Ce minéral est localisé dans des lits distincts, alternant avec d'autres qui en sont dépourvus ; ses petites paillettes jouent le même rôle que la biotite à laquelle il est souvent associé, bien que ce minéral ne soit pas toujours apparent. Au Mont Takarindroha (Ouest-Nord-Ouest de Vatomandry) les paillettes sont groupées à axes parallèles avec la biotite et la muscovite verte, les feldspaths sont l'orthose et l'andésine. Les portions riches en carbone affectent généralement une disposition lenticulaire.

Bien que le graphite se trouve parfois dans des gneiss très quartzeux passant à des quartzites (région de Vatomandry), il est particulièrement fréquent dans les types gneissiques passant aux micaschistes ; il arrive même à constituer, à lui seul, certaines couches, soit en très petites lamelles de cristallinité à peine discernable (Ambakoana, près d'Anivorano), soit en lames ayant jusqu'à un centimètre

de diamètre (Ambohimarina, au Nord de Seranantsara, près du confluent du Sahave et du Saly, affluent de la Rongaronga).

L'examen microscopique des roches graphiteuses montre (Ambohibe, Tsarazafy, Bekily) que le graphite en grandes lames, ou en particules extrêmement fines, est en partie inclus dans les éléments silicatés (quartz, feldspaths, amphiboles, pyroxène), il est donc incontestablement contemporain de ceux-ci.

Dans les gisements où les gneiss renferment, intercalées, des veinules ou des amandes de quartz ou de pegmatite, il est fréquent de voir celles-ci entourées par des croûtes continues, formées par des lames de graphite de plusieurs centimètres d'épaisseur et implantées perpendiculairement à la surface (Cf. t. I, pl. I, fig. 1). Ces croûtes se prolongent parfois dans le gneiss, sous forme de veinules interstratifiées, fournissant des échantillons de graphite en rosettes, qui rappellent celui de Ceylan et de Ticonderoga (t. I, pl. I, fig. 2) ; ces portions très cristallines de graphite ont été souvent écrasées, tordues, aplaties par actions dynamiques.

La distribution géographique des gneiss à graphite est extrêmement grande à Madagascar ; on peut dire qu'on les rencontre, sans exception, dans toute l'étendue du Massif cristallin. On trouvera page 150, des indications sur les gisements actuellement exploités. Voici quelques gisements dont j'ai étudié des échantillons et qui sont intéressants au point de vue lithologique.

Région d'Andavakoera ; régions de Mandritsara (Antsatrana, Andavakomby) et de Maroantsetra ; entre Bejofo et Befandriana ; Imerina ; Tsarazafy (rive gauche de l'Ikopa) ; Manantsoa (Sud d'Arivonimamo) ; Tsinjoarivo ; Antsiriribe ; Andranofito ; Ampitantafika ; Ialatsara : Ambatomitety (au Nord-Est d'Antsirabe) ; Ambohibe à l'Ouest de Betafo ; Monts Vohibe et Hierambao, près Inanatonana ; régions d'Andovoranto (Anivorano, Fetromby), de Vatomandry (Marovintsy, Mont Takarindriona) ; environs d'Itrongay ; Ampanihy (rivière Sakatovo) ; Bekily ; Betsioka au Sud de Tuléar, etc.

B. — *Gneiss et micaschistes à muscovite.*

a. — Micaschistes à muscovite.

La muscovite ne se trouve pas dans les gneiss de la base de la série, elle est caractéristique de la partie supérieure des schistes cristallins. A Madagascar on l'y trouve soit seule, soit associée à la biotite ; il est à remarquer que lorsqu'il existe

un silicate d'alumine, celui-ci n'est plus constitué par de la sillimanite. comme dans les micaschistes de la série inférieure, mais par du disthène.

α. **Micaschistes à deux micas.** — Sur la côte, vis-à-vis de l'île Sainte-Marie, se rencontrent des micaschistes dans lesquels la biotite et la muscovite entrent en proportions à peu près égales ; ils sont, çà et là, accompagnés de clinochlore.

Dans d'autres gisements, comme à l'Est du mont Andranomangitsy, au Sud de Betafo, la muscovite forme des porphyroblastes au milieu de la biotite dont les lames sont plus petites, Ce micaschiste est intercalé dans des quartzites.

β. **Micaschites à muscovite seule.** — Ces micaschistes sont de couleur claire, par suite de la prédominance des paillettes nacrées de mica blanc.

A Androta, au Sud-Ouest de Vohémar ; sur la haute Mianjona, près du massif granitique du mont Olotsingy ; à Anjanabonoina, des micaschistes très friables ne renferment guère que de la muscovite, ils alternent avec des bancs plus ou moins quartzeux. Des roches analogues, mais dont je n'ai vu que des échantillons altérés se trouvent entre le parallèle de Midongy et le Mangoky (Mitody, Ampandramaika, etc.),

De bons exemples de variétés moyennement riches en quartz, existent près de la côte orientale, entre le mont Vatovavy et Antsenavolo, alors qu'une variété extrêmement riche en quartz se rencontre aux environs d'Itea ; elle renferme de la pyrite et de l'or natif, visible à l'œil nu, qui y a été exploité.

Les travaux de la tranchée du Nord, à 4 kilomètres avant Antetezana, dans la direction de Foulpointe, ont mis à découvert un micaschiste à muscovite d'un vert olive, dont les lames prennent des contours hexagonaux, dans des lits très quartzeux intercalés au milieu d'autres pauvres en quartz.

Tous les micaschistes à muscovite n'ont pas une composition minéralogique aussi simple. Certains d'entre eux renferment des cristaux de tourmaline noire ferrifère : mont Ivohibe (Menamaty), région d'Ambilobe (Ambakirano, Ambarakaroka).

Enfin, entre Mananatafa et Soanierana, des micaschistes à muscovite sont tachetés de clinochlore. Il en est de même pour une roche similaire provenant de 1 500 mètres à l'Est de Sahabe, près Maroantsetra.

b. — Micaschistes et gneiss à muscovite et silicates d'alumine.

α. **Micaschistes à disthène.** — Ces micaschistes sont très abondants à Madagascar et le nombre de gisements, qui vont être cités comme exemple, est

destiné à s'accroître, car de nombreuses rivières roulent des cristaux de disthène, qui n'ont pas encore été rencontrés en place. J'en ai cité quelques exemples dans la description de ce minéral, ainsi que de gisements fournissant de grandes lames du même minéral, qui sont vraisemblablement des débris de veines quartzeuses, associées à des micaschistes ou à des quartzites.

Sur la côte Nord-Est, se trouvent, à Soanierana, des micaschistes surtout constitués par de la biotite et de la muscovite, qui contiennent des cristaux de disthène atteignant 5 à 6 centimètres. Ils sont de couleur bleuâtre, et apparaissent en relief sur les surfaces exposées à l'air; le quartz englobe en partie la biotite qui renferme de belles auréoles polychroïques. Entre cette localité et Mananatafa, les mêmes micaschistes sont localement très riches en grains de quartz transparents; le disthène y est blanc ou incolore. Ces roches alternent avec des micaschistes à muscovite et à biotite verte, pauvres en quartz. Tous ces micaschistes sont remarquables par leur fraîcheur

Plus au Sud, dans la vallée de la Volotarana, affluent de l'Ivoloina, se rencontrent des micaschistes très quartzeux, qui, à l'inverse des précédents, sont à peine schisteux; le disthène vert clair y est distribué d'une façon irrégulière.

A signaler dans l'Ouest les micaschistes de la Manantsahala, affluent du Mangoky.

Accidents à lazulite. — Sur les Hauts Plateaux, j'ai signalé deux roches intéressantes [34]. De très beaux micaschistes à disthène se trouvent à Andranomilevina, à 20 kilomètres au Sud de Betafo: ils constituent des accidents de quartzites et de micaschistes très quartzeux; le disthène vert (1 centimètre) est associé à du quartz, de la muscovite, à de petits grains de *lazulite* et à divers minéraux microscopiques (rutile, sphène et tourmaline).

A l'Est-Nord-Est de Betafo, à Ambohimanjaka, se rencontre une roche analogue, mais dans laquelle les proportions relatives du disthène et de la *lazulite* sont renversées. Ce dernier minéral, d'un bleu foncé, est localement si abondant que la roche perd sa schistosité. Cette dernière roche présente une grande analogie avec celle qui est connue[1] à Horrsjöberg en Wermand (Suède), mais qui renferme, en outre, quelques minéraux (svanbergite, pyrophyllite, apatite, talctriplite) n'existant pas dans le gisement malgache.

Disthénites. — Enfin, je signalerai dans le lit du ruisseau Beranorano, au Sud-Ouest de Tsimbolovolo, une roche presque entièrement constituée par du disthène coloré en jaune par de la limonite (pyrite altérée) et renfermant beaucoup d'or

1. Igelström. *Bull. Soc. minér. France*, t. V, 1882, p. 301.

natif visible à l'œil nu; cette disthénite est associée à des quartzites à magnétite et à des amphibolites.

β. **Gneiss à disthène.** — Les micaschistes à disthène de Soanierana renferment des lits riches en feldspaths (orthose et oligoclase-albite), associés à beaucoup de quartz, à de la biotite (belles auréoles polychroïques autour du zircon), à de la muscovite et à de grandes baguettes de disthène bleu clair. Sur les plans de schistosité, les feldspaths apparaissent d'un beau blanc de neige, par suite de leur transformation partielle en kaolinite. Ce gneiss me paraît avoir été injecté, lit par lit, par le granite.

γ. **Micaschistes à staurotide.** — Je ne connais nulle part en place des micaschistes renfermant la staurotide, mais l'abondance des cristaux de ce minéral dans les alluvions de la Saka, de la Volotarana, de la Manantsahala, affluent du Mangoky, rivières irrigant des régions micaschisteuses, ne laisse pas de doute sur l'existence de roches de ce genre. Par analogie avec ce qui est connu dans d'autres contrées, il n'est pas douteux que ce minéral ne doive être recherché dans des roches analogues aux micaschistes à disthène.

c. — Micaschistes à minéraux calciques.

α. **Micaschistes à épidote.** — Dans les environs d'Ivongo, se rencontrent des micaschistes à biotite extrêmement riches en épidote d'un jaune verdâtre, accompagnée de baguettes d'apatite et de sphène épigénisant de l'ilménite. Tandis que les micaschistes précédents résultent du métamorphisme de sédiments très alumineux, à peu près dépourvus de chaux, ces micaschistes au contraire ont été formés aux dépens de sédiments à la fois alumineux et calciques; ils se trouvent exclusivement dans la série cristallophyllienne supérieure.

β. **Micaschistes à amphibole.** — Dans le gisement aurifère d'Ambohimarina, il existe des micaschistes devenus jaunes et terreux par altération qui renferment en abondance de petits prismes de trémolite incolores ou légèrement verdâtres.

d. — Schistes micacés.

Ces roches diffèrent des micaschistes par leur cristallinité moindre et parfois aussi par leur structure; elles passent d'une part aux micaschistes et d'une autre aux schistes argileux dont elles dérivent.

Les schistes micacés se rencontrent exclusivement dans la partie supérieure du sommet des schistes cristallins.

α. **Schistes micacés à biotite.** — Ce type s'observe particulièrement dans la série schisto-quartziteuse et notamment au contact du granite; sa caractéristique essentielle tient à ce que les petites lames de biotite enveloppent les grains de quartz, au lieu de leur être accolées ou d'être englobées par eux.

Le quartz est généralement très abondant dans les gisements de l'Ouest du mont Bity et de l'Est d'Ambatofangehana, notamment sur les bords de l'Ivato, au gué de Vatomarirano.

Dans la région d'Ambatofinandrahana, se trouvent des roches de ce genre, tantôt absolument planes et se débitant en dalles en prenant un aspect ardoisier ; tantôt au contraire extrêmement plissées ou plissotées ; elles passent à des quartzites à grain fin qui offrent cette particularité que les lames de micas (muscovite prédominante) présentent, sur de grandes surfaces, la même orientation, de telle sorte que parfois les coupes minces taillées perpendiculairement à la schistosité paraissent constituées par un cristal unique, s'éteignant d'une façon uniforme, et percé d'une infinité de petits trous, comparables à ceux d'une écumoire; ils correspondent aux grains de quartz : ceux-ci sont allongés dans le sens de la schistosité.

Près d'Ankofa, au voisinage des quartzites à dumortiérite, se trouve un schiste micacé friable renfermant de grands cristaux blancs qui mesurent jusqu'à 5 centimètres $\times$ 5 millimètres. L'arrondissement de leurs arêtes, leurs formes parfois tordues, les ont fait prendre pour des fossiles. Il s'agit en réalité de pseudomorphoses en damourite de chiastolite. Dans les lames minces, elles ne se distinguent du reste de la roche qu'en ce que les paillettes de damourite ne sont pas orientées comme le sont la muscovite et la biotite du schiste. Les grains clastiques de quartz ne sont pas moins abondants que dans celui-ci.

β. **Schistes à séricite.** — Ces schistes se distinguent des précédents en ce que leurs lames de muscovite sont extrêmement fines (*séricite*); elles donnent à la roche un aspect satiné. Le quartz, le rutile, la tourmaline, le grenat almandin, la magnétite sont fréquents comme éléments microscopiques. Grâce aux petites dimensions de leurs éléments et à leur orientation, ces schistes se débitent en plaques minces. De bons exemples se trouvent dans la vallée du Mananjary (Morafeno près Mananjary; Haute Maha); dans la région des mines d'or d'Ambodimanga près Mahanoro; sur la route de Daraina à Vohémar, à 500 mètres de Bezezika (base du mont Bobakora).

Au confluent de la Mandrina et du Lokotra, je signalerai une variété chromifère (fuchsite) dans laquelle la séricite possède une coloration vert émeraude clair (*analyse* **133**).

Les schistes à séricite présentent parfois une coloration verdâtre, par suite de la présence de paillettes très fines d'une chlorite; tel est le cas de schistes passant à des phyllades, se trouvant au Sud d'Antalaha, notamment entre Marambo et Sahantaha et aussi dans la presqu'île de Masoala sur les versants de Maroantsetra et d'Antalaha. A Antsahivo, des schistes à séricite sont albitiques et chloriteux; des lits très quartzeux sont noirâtres et colorés par de la matière charbonneuse; d'autres renferment autant de biotite que de muscovite, avec, en outre, un peu d'albite et de tourmaline. Ces diverses variétés sont traversées par les veinules de quartz et d'albite.

Les schistes à séricite malgaches renferment parfois des phénoblastes de divers minéraux; tel est le cas d'une roche que je dois à M. Rouaix et qui provient de Sambatiko; elle contient de petits cristaux d'almandin (b^1 a^2) de 5 à 6 millimètres de diamètre; les schistes d'Ikongo renferment de jolis cristaux (b^1) du même minéral.

Au Sud-Est de Midongy, à Iazanatsoa (Est d'Ambatomainty) et sans doute en d'autres points à l'Ouest d'Ambatofinandrahana, un schiste à séricite, passant aux micaschistes et ne contenant pas de quartz, est riche en phénoblastes de *rutile*, à formes nettes pouvant atteindre plusieurs centaines de grammes. Le même minéral existe aussi dans les amandes et dans les lits quartzeux intercalés dans ce schiste.

γ. **Schistes à séricite et épidote.** — Certains des schistes à séricite se trouvant près de Bezezika, à la base septentrionale du mont Bobakora, au Sud de la route de Daraina à Vohémar, renferment de petits cristaux microscopiques réguliers, d'épidote, d'ilménite, d'apatite, associés à un peu de pennine. Dans la même région, à Ankajomantaina (2 kilomètres Nord-Ouest d'Andramalao), l'épidote et le quartz prédominent sur la séricite et la pennine dans un schiste jaunâtre.

e. — Composition chimique.

J'ai fait analyser deux micaschistes ou schistes très siliceux. **132**) *Micaschiste à deux micas,* Pointe de Takoandro; **133**) *Schiste micacé à fuchsite*, Mandrina. Ces analyses (M. Raoult) mettent en évidence l'origine sédimentaire de ces roches (grès argileux métamorphisé), l'excès d'alumine est notable; l'abondance relative

de la biotite dans **132** est une conséquence de la teneur en magnésie, qui est très faible dans le schiste **133** dont le mica est une muscovite chromifère.

	132	133
SiO^2	80,24	79,30
Al^2O^3	9,08	13,10
Fe^2O^3	2,58	0,62
FeO	1,60	0,56
MgO	2,35	0,29
CaO	0,32	0,50
Na^2O	1,18	0,98
K^2O	2,65	2,93
TiO^2	0,09	0,44
P^2O^5	»	0,06
H^2O +	0,18	0,05
—	0,09	0,06
	100,36	99,99[1]

C. — *Phyllades.*

Le Massif cristallin ne renferme qu'en très petite quantité des phyllades qui représentent le stade le moins cristallin de la série schisteuse. Tel est le cas des phyllades noirs de la série d'Andraronga, dans lesquels on ne distingue guère, au microscope, que des matières charbonneuses et argileuses, associées à du quartz.

Les phyllades noirs de Tsidiambinary que je dois à M. Rouaix sont, eux aussi, charbonneux ; ils renferment des lamelles de biotite et de muscovite et des pseudomorphoses micacées d'un minéral disparu (cordiérite ?). Ces roches sont imprégnées de pyrite.

Je renvoie à la page 464 pour la description de ces mêmes roches qui se chargent de cristaux de chiastolite, au contact du granite.

Il existe aussi des phyllades verdâtres à l'Est d'Andavakoera, notamment dans la région d'Ankaramy, je n'ai pas eu l'occasion de les étudier.

III. — GNEISS ALCALINS.

Les gneiss dont la composition correspond aux granites alcalins et notamment aux types à pyroxène et amphibole sodiques, aux syénites alcalines et aux syénites néphéliniques sont extrêmement rares ; leurs gisements connus se

1. Y compris CO^2 0,29 ; Cr^2O^3 0,81.

comptent par unités; les quelques observations que j'ai pu réunir à Madagascar tendent à montrer que les Hauts Plateaux sont destinés à fournir des documents précieux sur ces roches. La nature de celles que j'ai étudiées (mais que je n'ai pas recueillies moi-même) n'ayant été reconnue que dans le laboratoire, il ne m'est possible que d'effleurer cet intéressant sujet.

A. — *Gneiss et leptynites syénitiques à pyroxène et amphibole sodiques.*

Dans le chapitre consacré aux déformations des roches éruptives (p. 438), dans ceux des granites alcalins (p. 228) et des syénites (p. 377), j'ai décrit une série de roches provenant de la région située à l'Ouest et au Sud d'Ambatofinandrahana, entre la Mania et la Matsiatra : granites à aegyrine, syénites à torendrikite, etc., et j'ai montré comment, par des étapes successives, ces roches, d'abord déformées mécaniquement, ont recristallisé sous une forme granoblastique, conduisant, par l'intermédiaire de types porphyroblastiques, à d'autres, dans lesquels la recristallisation a été complète. A ce point de vue, les lits intercalés entre les calcaires et les quartzites de la région de Bedihy sont particulièrement remarquables et il eût été plus logique peut-être de décrire ici quelques-unes de ces roches sous le nom de *leptynites syénitiques* que sous celui d'aplites syénitiques. Il m'a paru cependant qu'il n'était pas possible de séparer les roches qui dérivent immédiatement les unes des autres et je m'en suis tenu rigoureusement à la règle arbitraire de ne décrire dans les chapitres consacrés aux schistes cristallins que les roches entièrement transformées, et non accompagnées de leurs types initiaux.

Je ferai remarquer que la caractéristique intéressante de ces roches recristallisées de Madagascar consiste en ce qu'elles n'ont pas changé de composition minéralogique; dans la plupart d'entre elles, le feldspath granoblastique, comme le feldspath primordial, est du microcline quadrillé et la torendrikite se retrouve dans les unes et les autres; seulement, elle a pris la forme de fines aiguilles, disséminées au milieu du feldspath néogène et non plus celle de grands cristaux homogènes, comme dans la roche primitive.

Les leptynites à aegyrine, dérivant du granite à aegyrine, de l'Imorona doivent être comparées aux leptynites à riebeckite de l'Angola, étudiées par M. Pereira de Souza[1] et aux orthogneiss à arfvedsonite de Cevadaes[2] en Portugal, et de Gloggnitz (Semmering[3], Autriche), ainsi qu'au gneiss à astochite

1. Pereira de Souza, *C. Rendus*, t. CLVII, 1913, p. 1450; t. CLXX, 1920, p. 238; t. CLXXIII, 1921, p. 777.
2. A. Osann, *Neues Jahrb. f. Miner.*, 1907, t. II, p. 109.
3. U. Kaiserling, *Tschermak's Miner. u. petr. Mitteil.*, t. XXII, 1903, p. 109.

du Groenland[1]. Quant aux types syénitiques d'Ambatofinandrahana et de Bedihy, je ne saurais les paralléliser qu'avec la remarquable série d'Alter Pedroso en Portugal, que j'ai eu l'occasion de décrire récemment[2], toutes réserves étant faites d'ailleurs sur quelques différences minéralogiques et chimiques, les roches portugaises étant sodiques et leur minéral coloré principal étant la riebeckite.

B. — *Gneiss à néphéline.*

Quand j'ai étudié à Tananarive la collection du Service des Mines, mon attention a été appelée par l'aspect insolite d'une roche, désignée sous le nom de *quartzite à magnétite* et indiquée comme ayant été recueillie par MM. Mouneyres et Baron dans le Bongolava, entre Ankilahila et Makaraingo.

L'examen de cet échantillon dans le laboratoire m'y ayant révélé l'existence de la néphéline, j'ai demandé à M. Bonnefond de vouloir bien en faire rechercher le gisement. De petits fragments ont été envoyés aux administrateurs et commandants de cercle de la région précitée et, après quelques mois de recherches, j'ai reçu le matériel nécessaire à une étude de cette roche que j'ai décrite alors [138].

Les échantillons recueillis par le lieutenant Crosnier, sur l'arête séparant les vallées de la Bekinamo et de la Mahakamba (affluent de gauche de la Mahavavy), prouvent que les roches néphéliniques ont une large distribution entre Androtra au Nord et Makaraingo; elles ont été suivies depuis le point 900 mètres au Nord de Makaraingo, jusqu'à Andrangonala (700 mètres), sur plus de 10 kilomètres.

Elles sont variées d'aspect, tantôt rubanées, formant des plaquettes à la surface du sol de ce pays désertique et tantôt à grain uniforme, à la façon des leptynites; elles entrent dans la composition d'un complexe gneissique qui, au sud de Makaraingo et plus au Nord dans le voisinage d'Ankilahila, comprend des gneiss micacés, souvent amphiboliques, du type subalcalin commun à tout Madagascar. Le fait que MM. Mouneyres et Baron, très avertis sur le facies des roches de la Grande-Ile, n'ont reconnu dans cette région que des gneiss et même ont pris l'une de ces roches pour un de ces quartzites habituellement intercalés dans les gneiss malgaches, est significatif et rend bien vraisemblable l'hypothèse que toutes ces roches ne forment pas des corps intrusifs indépendants, mais doivent être considérées comme des *orthogneiss*, au même titre que les leptynites si abondantes en lits parallèles au milieu de la série schistocristalline de Madagascar.

1. U. Belowsky, *Zeitschr. d. d. geol. Gesellsch.*, t. LVII, 1905, p. 33.
2. A. Lacroix, *C. Rendus*, t. CLXIII, 1916, p. 279.

Si cette opinion est légitime, et cela ne me paraît guère douteux, nous sommes ici en présence du second exemple connu de gneiss à néphéline. On sait en effet que, si l'équivalent de la plupart des roches éruptives a été reconnu parmi les orthogneiss, dont l'origine première est éruptive, mais qui doivent leur composition minéralogique et leur structure actuelles à des phénomènes de recristallisation, pendant longtemps, on n'a rencontré parmi eux aucun type à néphéline. Il y a une quinzaine d'années seulement, un gneiss néphélinique, associé à un gneiss à osannite, a été découvert à Cevadaes, en Portugal, par M. Osann[1], qui a eu la courtoisie de me communiquer ses types pour me permettre de les comparer aux miens.

La roche, qui a servi de point de départ à mon travail, est à petit grain, très rubanée, grâce surtout à l'orientation d'une amphibole, qui est couchée dans des lits parallèles au milieu de minéraux blancs, translucides et finement grenus: certains échantillons sont riches en octaèdres de magnétite, disposés sans ordre.

L'examen microscopique montre que les minéraux blancs consistent en microcline à macles quadrillées, en albite non maclée ou présentant des bandes larges et régulières de la macle de l'albite, en néphéline et en losite[2].

L'amphibole est fort polychroïque dans les teintes vert bleuâtre et jaune; sa très forte dispersion, l'écartement de ses axes optiques, ses grands angles d'extinction dans la zone verticale la rapprochent de la hastingsite, plus que de l'arfvedsonite. Elle existe seule et en assez grande abondance ou bien elle est accompagnée par de la biotite verte ou de l'ægyrine; ces dernières espèces se localisent d'ordinaire dans des lits distincts. Enfin, il existe un peu d'allanite, de sphène et de mélanite jaunâtre, monoréfringent.

Tous ces minéraux sont xénomorphes, de cristallisation à peu près contemporaine; la structure est granoblastique avec, çà et là, quelques phénoblastes de microcline. Le rubanement résulte à la fois de l'orientation des minéraux colorés et d'un certain allongement ou aplatissement (sans orientation géométrique déterminée) des feldspaths. Ces roches sont généralement dépourvues de tout minéral secondaire.

Un autre type, très leucocrate, n'est pas rubané ou ne présente que des alternances irrégulières de lits de grain varié. Il renferme peu ou pas d'amphibole, mais de la biotite et de la muscovite, avec un peu de magnétite, de grenat,

1. *Neues Jahrb. für Miner.*, 1907. Bd. II, 1909, p. 109.
2. J'ai désigné sous ce nom un minéral du groupe de la cancrinite, que j'ai rencontré pour la première fois dans les syénites néphéliniques des îles de Los et qui se distingue de la cancrinite normale par sa biréfringence, au moins moitié moindre.

d'allanite; c'est une leptynite néphélinique. La losite est absente et la néphéline présente parfois quelques altérations micacées.

L'analyse **134**, faite par M. Boiteau I(II).'6.(1)2.(3)4, correspond à un type chimico-minéralogique connu dans les syénites néphéliniques; *a* est l'analyse du gneiss à néphéline de Cevadaes par M. Dittrich (*in* Osann); I.6.1.4; 9. *Syénites néphéliniques : b.* de San José, Tamaulipas (Mexico) (H. 3. Washington, *in* Finlay (*Ann. New-York Ac. Sc.*, t. XIV, 1903, p. 266) I(II).(5)6.(1)2.'4; **135**. de Nosy Komba (Raoult) I'.6.(1)2.(3)4.

	134	*a*	*b*	135
SiO^2	55,99	59,52	58,40	55,95
Al^2O^3	20,18	21,24	20,25	22,96
Fe^2O^3	4,19	2,71	1,78	0,86
FeO	3,25	0,48	2,41	1,10
MgO	0,33	0,12	0,49	0,25
CaO	2,29	0,48	3,11	1,71
Na^2O	6,85	10,72	7,01	7,17
K^2O	5,59	3,92	5,39	6,43
TiO^2	0,29	traces	0,25	0,33
P^2O^5	0,19	»	0,20	0,10
Cl	0,04	»	0,02	»
SO^3	0,02	»	0,06	»
H^2O +	0,53	0,50	0,57	2,55
—	0,10		0,27	0,35
	99,84	100,06[1]	100,21	99,76

Le gneiss du Portugal, plus riche en silice et en soude, est moins potassique et en outre moins calcique et moins ferrugineux, ce qui entraîne une plus faible proportion des minéraux colorés. Malgré ces différences quantitatives, les roches des deux régions sont extrêmement analogues au point de vue minéralogique qualitatif. Elles ne diffèrent guère, à ce point de vue, que par des caractères d'ordre secondaire, l'existence de sphène et de muscovite à Madagascar, minéraux qui manquent au gneiss du Portugal, dans lequel on trouve par contre du zircon; l'amphibole alcaline y est en outre différente (osannite). La structure est la même, je veux dire la structure primaire, car le gneiss portugais présente des traces d'écrasement (structure cataclastique), qui n'existent pas dans ceux de Madagascar.

Il serait important de fixer les différences minéralogiques et structurales pouvant exister entre les gneiss à néphéline et les roches éruptives de même composition chimique. Je ne me crois pas en droit de tirer de conclusions définitives de deux observations seulement, mais il me paraît nécessaire d'appeler dès à présent l'attention de ceux, qui découvriront dans l'avenir des

1. Y compris ZrO^2 0,16; CO^2 0,21.

roches analogues, sur quelques caractères minéralogiques, en opposition avec ceux des syénites néphéliniques nettement éruptives, connues dans le Portugal aussi bien qu'à Madagascar ; peut-être la réunion de ces caractères n'est-elle pas due à une simple coïncidence. A Madagascar, le feldspath potassique se présente sous la forme de microcline à structure quadrillée et non sous celle d'orthose; la totalité de l'albite est de cristallisation primordiale ; il n'existe pas de microperthite : à Cevadaes, l'orthose et la microperthite sont absents ou exceptionnels.

En terminant j'ajouterai que, sur les hauteurs de Makaraingobe, au gneiss à néphéline est associé le granite à ægyrine décrit page 229.

IV. — GNEISS A PLAGIOCLASES

A. — *Gneiss amphiboliques et pyroxéniques à plagioclases.*

a. — Gneiss normaux.

Les roches dont il s'agit ici possèdent les mêmes caractères extérieurs que les gneiss à pyroxène et amphibole décrits dans le paragraphe précédent. Elles en diffèrent en ce que le feldspath alcalin (ordinairement orthose) est extrêmement réduit ou manque totalement; il existe des types quartzifères et d'autres qui ne contiennent pas de quartz. Ces gneiss sont généralement riches en sphène.

Par leur composition chimique, ils sont à rapprocher des granodiorites et des diorites, aux dépens desquels ils se sont produits. Ils se rencontrent dans la partie la plus cristalline de la série gneissique.

Leur structure est granoblastique, schisteuse, rubanée ou non ; dans ce cas, à la couleur près, ils rappellent les pyroxénites feldspathiques étudiées plus loin.

Je donne plus loin quelques analyses de ces gneiss, les uns riches en quartz (Salangina), les autres dépourvus de quartz [Bedihy (*analyse* **137**)], les uns très riches en biotite et alors très schisteux [Salangina (*analyse* **136**), Tompobohitra dans la vallée de la Sahatany (*analyse* **139**)], les autres essentiellement amphiboliques et dépourvus de schistosité [Sud d'Antoby, entre Ambohimarina et Miandrarivo (*analyse* **138**)].

Dissogénites transformées? — J'ai rencontré au milieu des gneiss des roches

non rubanées, à structure granoblastique dans lesquelles le plagioclase, accompagnant un diopside vert pâle, est associé à de l'orthose et à du microcline. Par leur aspect, ces roches rappellent les dissogénites, mais elles ne forment pas des filons et je serai assez porté à les regarder comme le résultat de la recristallisation granoblastique de ces roches.

Tantôt il existe du quartz [entre le kilomètre 58 et le kilomètre 72 de la route de Mananjary à Fianarantsoa (avec épidote et hornblende)] et tantôt ce minéral n'existe pas [Bekitro (avec graphite et microcline)]; entre Behara et Tranomaro (hornblende et orthose).

C'est à ce même type qu'il faut rapporter une roche très exceptionnelle, recueillie dans la rivière Sahandrambo (province de Mananjary); elle est saccharoïde, d'un vert pâle (microcline, diopside vert d'herbe et sphène granoblastique), avec phénoblastes de hornblende d'un vert noir, aplatis suivant h^1, qui englobent poecilitiquement les autres minéraux (*analyse* **140**).

Il est possible qu'il faille rapporter à ce type la roche à grain fin d'Alasora décrite page 376.

Composition chimique. — J'ai réuni dans le tableau ci-contre quelques analyses (M. Raoult) montrant les variations extrêmes de composition des gneiss à plagioclases et mettant en évidence leur caractère dioritique.

136) *gneiss amphibolique et micacé rubané,* Salangina, I'.3.'3 ; **137**) *gneiss amphibolique,* Bedihy, II(III).5.'3.4 ; **138**) *gneiss amphibolique,* Sud d'Antoby, entre Ambohimarina et Miandrarivo, II.3.4.3(4).3(4); **139**) *gneiss micacé à hornblende,* Tompobohitra.

Enfin, **140**) est un *gneiss syénitique à pyroxène et microcline* de la vallée de Sahandrambo, III.5.3.3 que je suppose être une *dissogénite* mésocrate, recristallisée.

	136	137	138	139	140
SiO^2. . .	74,72	52,92	52,66	45,92	54,30
Al^2O^3. . .	10,58	12,41	15,54	14,04	10,68
Fe^2O^3. . .	1,84	3,83	4,73	5,33	0,67
FeO. . .	2,91	8,56	5,52	11,04	3,75
MgO. . .	0,89	5,41	5,06	4,93	8,88
CaO. . .	2,88	7,58	7,88	7,60	15,94
Na^2O. . .	2,71	1,79	4,19	3,56	2,02
K^2O. . .	1,57	1,66	2,14	2,87	2,70
TiO^2. . .	1,19	1,98	1,19	3,61	0,91
P^2O^5. . .	0,18	0,32	0,69	0,85	0,12
H^2O +. . .	0,51	1,87	0,62	0,48	0,19
—. . .	0,11	1,22	0,10	0,05	0,05
C^2O. . .	»	0,51	»	»	»
	100,09	100,06	100,32	100,28	100,21

b. — Gneiss à albite et épidote.

Les plagioclases étant instables au niveau où a recristallisé la zone supérieure des schistes cristallins, ils sont remplacés dans les roches de ce niveau par de l'albite et des silicates alumineux calciques hydroxylés du genre de la zoïsite et de l'épidote : il existe à Madagascar, notamment sur la côte Nord-Est, dans la région des micaschistes quelques roches de ce type qui, au point de vue chimique, sont les homologues des gneiss de la série précédente.

Gneiss à épidote. — Le récif de Manambia, au Sud de Maroantsetra, renferme un gneiss dont les feldspaths, aujourd'hui indéterminables, sont littéralement criblés d'inclusions d'épidote, de muscovite, de biotite et de sphène ; il contient des lits d'épidotite quartzifère.

A Nandrojia, près Maevatanana, se trouve une roche gneissique, riche en quartz grenu qui lui donne un aspect saccharoïde. Au microscope, l'on constate que ce quartz, finement granoblastique, renferme une poussière de petits granules d'épidote, minéral qui forme aussi une ceinture continue à de nombreux et gros grains d'apatite : de longues baguettes de hornblende verte sont disséminées au milieu de ce quartz, ainsi que des îlots clairsemés de lamelles de biotite enserrant du sphène. Enfin, de l'albite, non maclée, constitue de grandes plages qui englobent poecilitiquement le quartz. Ce gneiss, à composition et à structure si spéciales, est intercalé dans les quartzites à magnétite. Il provient donc d'un niveau élevé dans la série des schistes cristallins.

Gneiss à albite. — Sur la côte Nord-Est, à Fénérive même et, plus à l'Est, dans le massif du Vohitrambo, c'est-à-dire, là encore, à un niveau élevé de la série des schistes cristallins, se trouvent des gneiss, riches en quartz et très schisteux dont le feldspath est de l'albite peu ou pas maclée, accompagnée d'un peu d'albite tantôt en petits grains (Fénérive), tantôt en gros phénoblastes (Mont Vohitrambo). Il existe en outre peu ou beaucoup (suivant les échantillons) d'une hornblende verte dont les baguettes, très allongées, enveloppent poecilitiquement quartz et feldspaths ; de la biotite se concentre dans des lits spéciaux ; il faut citer aussi de la titanomagnétite et du sphène. Ces gneiss renferment des lits plus riches en amphibole qui est un peu fibreuse (Mont Vohitrambo).

Enfin, à Foulpointe, dans une roche analogue, s'observent de gros cubes de pyrite et des amandes quartzo-feldspathiques au milieu desquelles se distinguent de grands clivages de calcite rosée, ayant jusqu'à 6 centimètres de plus grande

dimension. Leur dissolution par un acide m'a permis de dégager de très beaux cristaux d'albite enchevêtrés, d'un blanc laiteux dont les formes sont figurées dans le tome I, à la page 572.

Notons enfin qu'au sommet du mont Ampanobe, dans la série supérieure des schistes cristallins encore, des gneiss à albite renferment comme accident des épidotites feldspathiques.

L'*analyse* **141** (M. Raoult) montre que le gneiss à albite et épidote de Foulpointe a la composition d'une diorite quartzique ['II.4.(2)3.4(5)]dont le feldspath moyen virtuel a 23 pour 100 d'anorthite. C'est son dédoublement qui fournit l'albite et l'épidote.

	141
SiO^2	64,30
Al^2O^3	13,99
Fe^2O^3	4,15
FeO	3,21
MgO	2,01
CaO	4,70
Na^2O	4,47
K^2O	1,11
TiO^2	1,03
P^2O^5	0,55
H^2O +	0,19
—	0,14
	99,85

Leptynite à hornblende en gerbes. — Les micaschistes de la côte orientale, entre Mananatafa et Soanierana, vis-à-vis l'île Sainte-Marie, renferment une roche compacte, non rubanée, constituée par une pâte blanche ou blanc jaunâtre, très finement grenue, sur laquelle se détachent des cristaux très allongés de hornblende mesurant de 1 à 2 centimètres. Au microscope, on constate que le feldspath est un plagioclase basique, non maclé, en petites plages à contours sinueux qui englobent un peu d'épidote à laquelle est due la coloration jaune de la roche. La hornblende, d'un vert clair, renferme des grains d'épidote, peu de quartz, ainsi que des aiguilles de rutile.

Cette roche ressemble beaucoup à une roche de Cayenne (Pointe de la Batterie. Guyane française), qui est plus feldspathique et plus épidotifère et dont la structure est granoblastique. Elle est associée à des diabases ; aussi peut-on se demander si l'on ne se trouve pas en présence d'un orthogneiss.

Au point de vue purement structural, cette roche rappelle aussi un peu les *Hornblendegarbenschiefer* du flanc Sud du Saint-Gothard, que M. Grubenmann

considère comme le résultat d'un contact pneumatolytique, et aussi aux *Feder-amphibolites* du Canada, que M. Frank D. Adams a décrites comme des para-amphibolites.

B. — *Ortho-pyroxénites.*

a. — Types feldspathiques.

Je désigne sous ce nom des roches feldspathiques, dépourvues de quartz ou pauvres en quartz, mais riches en pyroxène ; leur couleur est noire ou d'un gris noir, suivant que ce minéral prédomine plus ou moins sur les feldspaths. Ces pyroxénites sont très cristallines, mais à grain moyen, ou, plus généralement, à grain fin. Il n'existe pas d'ordinaire de schistosité et fréquemment même, l'on ne constate aucune orientation des minéraux constitutifs.

Ces roches forment des lits minces ou des bancs épais, intercalés au milieu des gneiss. Elles dérivent d'une façon très évidente des gabbros qu'elles accompagnent assez fréquemment à Madagascar. On peut y distinguer deux variétés principales.

α. **Type I.** — Le pyroxène est une augite, présentant parfois les plans h^1 de séparation du diallage, mais sans les inclusions de celui-ci. En lames minces, ce pyroxène est verdâtre ; dans certains gisements, il possède un polychroïsme net, avec une teinte d'un vert olivâtre suivant n_g et rosâtre suivant n_m ; ce polychroïsme rappelle beaucoup celui de l'hypersthène, qui, très fréquemment, accompagne ce pyroxène monoclinique. L'extinction de ce dernier est en général d'une quarantaine de degrés dans g^1. Il existe parfois de l'amphibole, hornblende brune ou verte ; lorsque celle-ci devient suffisamment abondante, elle détermine un passage aux amphibolites qui vont être décrites plus loin. Le plagioclase appartient généralement au groupe du labrador ; mais il y existe parfois des types moins basiques et, dans ce cas, apparaît parfois un peu de quartz. Les minerais (magnétite ou ilménite) et l'apatite sont d'ordinaire assez peu abondants.

D'une façon générale, les pyroxènes existent en plus grande quantité que les feldspaths, j'ai cependant observé des exemples de variétés très feldspathiques (Ambodimisongo ; Mahitsondrarazona ; vallée de la Lalana, etc...).

La structure est nettement granoblastique pour tous les éléments, sauf parfois pour l'amphibole dont les cristaux peuvent être un peu allongés et englober poecilitiquement les autres minéraux. Cette structure et cette composition minéralogique rappellent celles de la *beerbachite*, structurellement granulitique et lorsque ces pyroxénites feldspathiques sont associées à des gabbros, l'on peut parfois

hésiter sur leur véritable nature, mais le plus souvent l'intercalation en bancs minces ou épais au milieu des gneiss, l'absence fréquente, dans ce cas, de gabbros au voisinage ne laissent pas de doute sur l'attribution de ces roches à des schistes cristallins ; ce sont des formes recristallisées de gabbros, avec modification de la structure, mais sans changement appréciable de la composition minéralogique ni de composition chimique, ainsi qu'on va le voir plus loin.

Je vais donner quelques exemples caractéristiques de ces roches qui sont extrêmement abondantes dans l'île. La région du lac Alaotra et celle de Tsaratanana sont celles où il est le plus facile d'étudier leurs relations avec des gabbros imparfaitement transformés. D'après les idées actuellement en cours, et qui trouvent une vérification à Madagascar, cette forme pyroxénique des transformations des gabbros a dû être effectuée à une profondeur plus grande que la forme amphibolique qui va être décrite plus loin. Ces roches sont à comparer à celles de Saxe, désignées sous le nom de *pyroxengranulit* (trappgranulit) par les géologues allemands (*analyse* **9**).

De bons exemples de pyroxénites feldspathiques, dont le pyroxène unique est de l'augite, se trouve au Sud-Est de Tsaratanana sur le flanc du Tampoketsa. La variété caractérisée par un peu de hornblende est réalisée au Sud d'Ankilimaro (Nord de Bekily), etc.

Plus fréquents sont les cas dans lesquels l'augite est accompagnée d'hypersthène ; la région du lac Alaotra qui renferme des gabbros de même nature peut être citée avant toute autre : Vodivato, au Nord du lac (*analyse* **143**) et nombreux gisements à l'Est de celui-ci.

Plus rare est le cas dans lequel il existe de l'olivine ; il est réalisé entre l'Anony et Ambatomainty, non loin des diallagites du mont Ankitsika ; l'olivine, peu abondante, est incluse dans des grains d'augite qui, eux-mêmes, sont englobés poecilitiquement par des plages plus grandes de hornblende brune (*analyse* **144**).

L'hypersthène existe parfois seul, en fait de pyroxène ; j'en ai vu de bons exemples provenant du mont Andilambe (avec fort peu de hornblende) (*analyse* **142**), puis de l'Ouest du mont Andringitra (un peu de hornblende avec inclusions ferrugineuses) ; d'Ilalana, au Sud-Ouest d'Antanimora.

Enfin, il existe parfois du grenat, en gros grain ; particulièrement dans les variétés, à la fois augitiques et amphiboliques. Tel est le cas de la roche d'Ambohibalo, à 8 ou 9 kilomètres de Tananarive, jadis décrite par M. Hatch [125].

Au point de vue minéralogique, ces ortho-pyroxénites feldspathiques présentent quelque analogie avec les para-pyroxénites feldspathiques qui sont décrites plus loin ; elles en diffèrent par l'absence du sphène, de la scapolite, de la wollastonite,

de la calcite, par la nature de leur pyroxène qui est de l'augite ou de l'hypersthène et non pas du diopside. Tandis qu'elles dérivent de roches gabbroïques[1], auxquelles, comme on vient de le voir, elles sont parfois associées, les para-pyroxénites sont les satellites des calcaires et des marnes, aux dépens desquels elles ont été produites et auxquels elles passent parfois par étapes insensibles : leur composition chimique présente des différences, qui sont mises en évidence par la comparaison des analyses données à la description de ces divers types lithologiques.

β. **Type II.** — Ce type se distingue du précédent par sa structure et par la plus grande fréquence du grenat ; il réalise, à mes yeux, un stade moins évolué de la transformation des gabbros. Je le connais non seulement en bancs intercalés dans les gneiss, mais encore en dykes coupant ceux-ci. Leurs relations d'origine avec les gabbros et particulièrement avec des gabbros hypéritiques ou diabasiques sautent aux yeux et l'on rencontre encore, quelquefois, au milieu d'eux, des îlots de la roche originelle non transformée. Tel est en particulier le cas des roches de la vallée de Lohasaha (*analyse* **145**), et notamment des environs d'Anosiravo (*analyse* **146**).

Dans ces roches, l'augite forme de petits grains contournés, groupés parfois en grand nombre suivant une même orientation ; elle constitue ainsi des squelettes discontinus de grands cristaux. Ceux-ci sont enveloppés dans le plagioclase, granoblastique, comme dans le type précédent. Plus rarement, ce pyroxène forme de grands cristaux continus, mais creusés de cavités dentelliformes dont les jours sont remplis par le plagioclase.

Très fréquemment, il existe du grenat, généralement incolore en lames minces, monoréfringent et offrant la même structure, en quelque sorte squelettiforme, que le pyroxène. A noter enfin un peu de minerais et de sphène. D'ordinaire, les minéraux colorés sont très irrégulièrement distribués ; quand le pyroxène est accompagné de hornblende (brune ou verte), il n'est pas rare de constater que ces deux minéraux ne sont pas mélangés, mais groupés par taches, isolées les unes des autres. Aux gisements indiqués plus haut, on peut en ajouter beaucoup d'autres : Ilafy (8 kilomètres Nord de Tananarive) ; Mahitsondrarazona, etc.

Dans une variété un peu spéciale, provenant de Tsarahavana, l'augite est violacée et possède une structure diablastique ; il existe un peu de hornblende.

A citer comme types grenatifères à grenat rouge foncé : le mont Ambatomainty, à 5 kilomètres Nord-Nord-Est de Tananarive ; 4 kilomètres de Tsinjoa-

1. Ces roches gabbroïques sont en général mésocrates ; c'est en quoi ce type de pyroxénites diffère des gneiss à pyroxène du paragraphe précédent ; il y a, naturellement, des passages entre eux.

rivo, sur la route d'Ambatolampy (petit monticule de 300 mètres de largeur); Ambongabe sur le Bemarivo.

Ce type de pyroxénite renferme fréquemment de l'hypersthène; une roche de ce genre, recueillie à Andasibe, à l'Est de Tsinjoarivo, est noire et parcourue par des veinules leucocrates; l'examen microscopique montre une trame de hornblende brune granoblastique, entourant des îlots grenus d'hypersthène ou de plagioclases basiques, mélangés à un peu d'hypersthène ou enfin de plages de grenat. Ce dernier minéral forme parfois une couronne extérieure aux agrégats de grains d'hypersthène. De loin en loin, s'observent des plages de plagioclases schillérisés et des débris tordus de plages d'hypersthène, derniers restes de la roche éruptive originelle. C'est un des rares cas, où j'ai observé des phénomènes de déformation mécanique accompagnant ces transformations de gabbros en gneiss à pyroxène.

A Ilaloto, sur la Rienana, se trouve un gneiss à pyroxène feldspathique, grenatifère, riche en quartz. Il renferme un peu d'hypersthène ; l'augite forme des agrégats kélyphitiques autour du grenat.

Peut-être certaines grenatites de la rivière Manakaralahy, dans lesquelles du grenat associé à de la magnétite est réparti d'une façon uniforme sont-elles en relations avec ce type de pyroxénite?

L'*analyse* **148** est celle d'une pyroxénite feldspathique recueillie dans la même région ; elle est composée de : diallage, apatite, magnétite, zircon, labrador (antiperthite), grenat qui englobe en partie les feldspaths. Il existe aussi un peu de scapolite : c'est le seul exemple que j'ai observé à Madagascar, de la présence d'une wernérite dans un orthogneiss.

γ. **Composition chimique.** — La démonstration de l'origine attribuée aux pyroxénites feldspathiques peut être faite par la comparaison des analyses ci-contre avec celles des gabbros données plus haut. Les deux premières (**142** et **143**) correspondent à des types riches en hypersthène, **146** à une variété contenant un peu d'olivine, toutes trois sont dépourvues de grenat; les autres sont celles de types grenatifères [M. Raoult, sauf les *analyses* **143** et **144** (Pisani)].

142) Mont Andilambe, 'III.5.4'.'4 ; **143**) Vodivato, III.'5.4.'4 ; **144**) entre Anony et Ambatomainty, III.5.(3)4.4 ; **145**) Lohasaha, 'III.4'.4.4.5 ; **146**) Anosiravo, 'III.5.4.4—5 ; **147**[1]) rivière Sakavola, III.(4)5.4.4(5) ; **148**) rivière Mana-

1. On peut discuter sur l'attribution de cette roche aux orthogneiss ; il existe quelques gabbros, ayant une semblable teneur en chaux, mais ils sont plus magnésiens (plus mélanocrates), ou plus alumineux (plus leucocrates), d'autre part la teneur en titane et en fer me paraît peu compatible avec une origine sédimentaire (voir plus loin les analyses des para-pyroxénites malgaches) ; c'est pourquoi j'ai placé cette roche ici.

karalahy, III.4'.(3)4,4. Bien qu'elle soit peu satisfaisante, je donne, comme comparaison, l'analyse *a* de la *trappgranulit* de Böhringen (Saxe) (*in* Rosenbusch. *Elemente der Gesteinlehre*, 1910, p. 618).

	142	**143**	**144**	**145**	**146**	**147**	**148**	*a*
SiO^2. . .	48,25	48,34	47,57	48,73	46,92	48,06	47,90	45,52
Al^2O^3. . .	17,54	13,06	13,07	13,60	14,68	12,06	12,81	17,74
Fe^2O^3. . .	3,80	7,14	5,58	7,15	4,05	4,24	4,93	12,65
FeO. . .	8,90	7,71	8,48	9,08	8,04	7,26	12,28	
MgO. . .	7,85	10,08	8,00	5,02	10,81	5,64	3,13	9,49
CaO. . .	9,71	9,42	11,88	9,47	10,30	16,20	9,20	10,40
Na^2O. . .	1,16	1,84	2,51	2,20	2,01	1,60	1,96	2,52
K^2O. . .	0,78	0,25	0,63	0,58	0,62	0,42	1,13	0,07
TiO^2. . .	2,05	1,03	1,58	3,31	1,17	2,39	5,55	»
P^2O^5. . .	0,06	0,18	0,49	0,50	0,16	0,18	0,61	»
H^2O +. . .	0,47	1,19	0,15	0,36	1,16	0,69	0,42	»
—. . .		0,15	0,09	0,02	0,38	0,08	0,23	»
	100,57	100,39	100,03	100,02	100,30	100,12[1]	100,15	98,98[2]

b. — Types non feldspathiques.

α. **Eclogites.** — Je ne connais qu'un seul échantillon d'*éclogite* provenant de Madagascar ; il m'a été remis par M. Boissier qui l'avait rapporté d'une prospection dans le gisement aurifère, dit mine de l'Itasy, dans la région de Miandrarivo. Cet échantillon a été brièvement décrit par Mlle Yvonne Brière dans sa thèse[3].

L'aspect extérieur est celui des éclogites de la Loire-inférieure : sur un fond de grenat rosé, et d'*omphazite* vert d'herbe, se détachent quelques baguettes d'amphibole d'un vert foncé, polychroïques en bleu verdâtre suivant n_g, en verdâtre suivant n_m et en jaune très pâle suivant n_p. Çà et là, s'observent des traînées de rutile, de pyrite et de quartz. Ces divers minéraux ont une tendance à s'isoler en lits distincts.

L'examen au microscope permet de constater l'abondance de la clinozoïsite et l'existence de quelques rares lames de muscovite, maclées suivant *m*. La structure est régulièrement granoblastique.

Les éclogites dont le pyroxène est à la fois sodique et alumineux, possèdent la même composition que les pyroxénites feldspathiques étudiées plus haut et, comme elles, résultent de la transformation de gabbros riches en minéraux colorés.

1. Y compris CO^2 1,10 ; Cl 0,09 ; S 0,11.
2. Y compris MnO 0,59.
3. Y. Brière, Les éclogites françaises, *Bull. Soc. franç. minér.*, t. XLIII, 1920, p.

β. **Pyroxénites.** — Par contre, les roches formées par de l'augite et de l'hypersthène dominant sont probablement le résultat de la recristallisation, avec une structure différente, de roches ayant sensiblement la même composition minéralogique, à moins que la hornblende n'y soit très abondante.

Je connais quelques exemples de roches à structure granoblastique, essentiellement constituées par de l'augite, de l'hypersthène accompagnés d'une quantité variable de hornblende d'un vert foncé, en gros cristaux qui enveloppent poecilitiquement les pyroxènes. Des roches de ce genre, noires et à gros grain, ont été recueillies à Ianakafy, sur la rive gauche de l'Onilahy (peu d'amphibole) ; dans la rivière Menamaty (beaucoup d'amphibole). J'ai examiné une roche, de couleur d'un vert assez foncé, provenant du Sud-Ouest de Maevatanana ; elle semble, à l'œil nu, formée uniquement par de l'amphibole fibreuse ; l'examen microscopique fait voir que celle-ci résulte de la transformation d'un pyroxène dont il existe quelques restes intacts.

Enfin sur l'Imaloto, je connais un type très amphibolique qui renferme, en outre, de gros grenats.

C. — *Ortho-amphibolites.*

a. — Types feldspathiques.

On a vu page 448 que l'étude des gabbros ouralitisés conduit, de proche en proche, à la notion de roches formées par de la hornblende et du plagioclase et qui sont à proprement parler des amphibolites feldspathiques. J'ai décrit plus haut les termes de passage ; je ne m'occuperai plus ici que de ceux dans lesquels toute trace de la roche originelle a disparu. Les analyses chimiques qui ont été groupées plus loin ne laissent aucun doute sur l'origine des roches étudiées. Je me suis occupé dans les pages qui suivent à réunir des exemples de roches ayant, selon toute vraisemblance, une même origine. Je dois reconnaître toutefois que des amphibolites résultant de la transformation de sédiments, offrent souvent une grande analogie de composition minéralogique avec ces roches, et il n'est pas impossible que quelques para-amphibolites se soient glissées dans celles qui vont être énumérées plus loin. Comme il s'agit de cas douteux, seules des analyses chimiques que, pour des raisons faciles à comprendre, je n'ai pu multiplier outre mesure, permettraient de fixer d'une façon définitive à cet égard.

Il existe de grandes variations dans les proportions relatives de l'amphibole et des feldspaths, mais je range ici seulement les roches dans lesquelles les proportions de l'amphibole sont au moins égales à celles des feldspaths. La composition de

ceux-ci oscille entre une andésine basique et la bytownite. Parfois il existe un peu de quartz ; le sphène est fréquent.

La structure de l'élément blanc est granoblastique, la forme et le mode de distribution de l'amphibole est variable et il en résulte deux types qui, d'ailleurs, ne se présentent pas au même niveau dans la série.

α. **Amphibolites uniformément granoblastiques.** — Ces roches en effet paraissent avoir recristallisé à un niveau plus profond que le type suivant. Elles accompagnent parfois le type 1 de pyroxénites feldspathiques. Elles sont ou bien dépourvues de tout arrangement régulier dans la distribution de leurs minéraux constitutifs ou bien simplement rubanées ; souvent même ce rubanement n'apparaît que sur les surfaces exposées à l'air ; il est d'autant plus apparent que la proportion d'amphibole est plus grande (hornblende verte ou brunâtre avec angle maximum de 18 à 20° en moyenne).

Quand le grain est fin, la roche est toujours de couleur sombre, mais lorsqu'elle est à grands éléments, le feldspath devient apparent et tranche sur l'amphibole d'un vert généralement foncé ; la roche ressemble à une diorite ; dans les types très mélanocrates, le feldspath apparaît souvent sous forme de petites taches blanches arrondies au milieu d'une trame d'amphibole prédominante et continue. Là encore, il est surtout distinct sur les surfaces altérées à l'air. Beaucoup de ces amphibolites ne renferment aucun minerai ; leur structure est régulièrement granoblastique.

Je citerai tout d'abord des exemples à facies dioritique qui sont les plus feldspathiques. Entre Betafo et Anjanabonoina, notamment à Angavo (un peu de diopside) (*analyse* **151**) ; 2 kilomètres Ouest de Soavina, au Nord des monts Olotsingy ; rive gauche de l'Isakely, à l'Est de Laondany (passage ménagé aux gabbros ouralitisés) ; mont Vatosola, près du gisement de corindon d'Ankazondrano (hornblende brune accompagnée d'un peu de diopside) ; dans le bassin de la Mania (amphibolites feldspathiques, un peu pyroxéniques, à grain fin, rappelant certaines cornéennes (Bedihy ; Sud-Est Ambalahady) ; entre Alarobia et Befeta (30 kilomètres Sud-Ouest d'Ambohimahasoa (roche hétérogène noire, avec portions blanches tachetées de noir) ; même variété près de Solila ; vallées de l'Isanaka et de la Zanaka (quelques porphyroblastes de hornblende) ; Antsakoana sur la rive gauche de la Matsiatra ; entre Antoby et Miandrivazo (diopside) ; mont Vohibory (filons dans serpentine), avec, çà et là, restes de grandes plages du plagioclase originel.

Les types tout à fait mélanocrates sont plus nombreux encore peut-être ; en voici quelques exemples :

Ampandrano, au Nord d'Analaidirana ; ravin d'Antsohy sur la Betanatanana ; Ambatomafana sur le Maningory, au voisinage du lac Alaotra ; 3 kilomètres Nord-

Ouest de Manankasina, près Mahitsy (région d'Ambohidratrimo); vallée de Lohasaha, au pied de l'Angavo (avec ilménite et sphène) (association aux pyroxénites feldspathiques); sur l'Ingalana, en amont de Miandrarivo (hornblende riche en inclusions de magnétite, un peu de quartz); Vinaninkarena; environs du mont Andrarafato, au Sud-Ouest d'Ambositra; Sud du col d'Ambalavao (pyroxène, schistosité déterminée par la présence de biotite); Ambatomainty, au Sud de Fihaonana; Antsakoana (type vert clair, renfermant du diopside et associé à la variété leucocrate signalée plus haut); sur la Mananara et sur la rive droite de celui-ci, pic de Farafasina; Est d'Isoanala; Mont Vohibory (associé à la roche citée plus haut); vallée de la Manakaralahy; Nord d'Ankilimaro (Bevolana, Tsianarena); région de Tsiombe, entre Beloha et Ambovombe (grands phénoblastes poecilitiques de hornblende et d'hypersthène); Antaramaitsy (rochers apparaissant sous le calcaire tertiaire de la côte de l'Extrême Sud).

Un type exceptionnel provient de la région des placers de l'Amboasary; il renferme un peu de diopside; le plagioclase (bytownite), associé à de petits grains de microcline, forme de grandes plages qui englobent poecilitiquement une partie des métasilicates.

Le gisement cuprifère de Mandro, près Betafo, est en relation avec une amphibolite très noire à grands éléments; c'est au microcope seulement que, dans les cristaux de hornblende, apparaissent des grains de plagioclases basiques, en partie transformés en épidote et associés à un peu de quartz; au voisinage des affleurements, cette amphibolite est imprégnée de malachite. La même roche se trouve à quelque distance, en contact avec un gîte de magnétite et d'hématite; en ce point, elle devient riche en magnétite.

Variétés grenatifères. — Ces amphibolites, aussi bien celles qui sont riches en plagioclases que celles qui en renferment peu, présentent des variétés grenatifères. Comme exemple de ces dernières, je citerai les gisements du bassin de l'Onilahy à une dizaine de kilomètres de Benenitra et aussi ceux du pays Mahafaly (entre Soamanonga, Ambatomitikitsy, Betampy, etc.). On y rencontre des porphyroblastes d'almandin-pyrope pouvant atteindre plusieurs centimètres de diamètre; ils sont parfois transparents et utilisables comme gemmes. L'amphibole est généralement d'un vert très foncé; elle peut devenir prédominante et la roche passe alors à des amphibolites sans feldspaths.

Une roche analogue se trouve à Ambatomainty, près Tananarive (*analyse* **152**), puis sur les bords de l'Isakely, à l'Est de Laondany, où elle est associée à des gabbros. Une variété à grains de grenat rouge sombre de quelques millimètres de diamètre, régulièrement distribués, au milieu d'une amphibole d'un brun vert foncé, se trouve à Andavakoera (*analyse* **151**).

Enfin, il me reste à signaler un exemple remarquable d'amphibolites feldspathiques grenatifères de couleur claire, provenant de la vallée de l'Andranojanga, au Nord d'Ejeda. L'amphibole est d'un vert pâle ; le fedspath constitué par de la bytownite ; quant au grenat (almandin-pyrope), il est plus rose que rouge et forme de gros cristaux. La constitution chimique de cette roche est discutée page 520.

β. **Amphibolites schisteuses.** — Dans ces roches, l'amphibole est disposée suivant des plans parallèles qui déterminent une schistosité nette. Quand, en outre, ce minéral est très abondant et très allongé suivant l'axe vertical (structure nématoblastique), la roche prend un aspect fibreux ; sur les plans de schistosité, l'on ne distingue guère que l'amphibole, alors que sur les cassures transversales, les éléments blancs apparaissent avec netteté.

Ce type d'amphibolites, qui provient d'un niveau plus élevé que le précédent, abonde dans le Betsiriry [région de Miandrivazo (rivière Telomita) ; rive gauche du Mahajilo, à 20 kilomètres de Miandrarivo ; Kiranomena ; 500 mètres du poste de Ramartina (*analyse* **149**), etc.] ; au Sud-Est d'Ankavandra, à Ambohipisaka, ces roches sont parfois tellement schisteuses et à éléments si fins qu'elles ont été prises pour des phyllades[1].

Ces amphibolites sont associées à des gabbros grenus ou diabasiques qui représentent des restes non transformés de la roche originelle ; cette association a été signalée depuis longtemps par Baron et Mouneyres [173] au Sud-Ouest du mont Tsinjomay et dans la vallée de la Kiranorano.

Sur la route conduisant du Betsiriry à Betafo, au mont Tsaramody, ce même type d'amphibolite se délite aux affleurements en laissant à la surface du sol des solides fusiformes[2] ou polyédriques (grossièrement hexagonaux) dont l'axe coïncide avec la zone de fibrosité de la roche : cette amphibolite est quartzifère.

Voici quelques autres gisements :

Tananarive (Ampamarinana) ; Ampasimbe, entre la capitale et la côte ; pied Sud du mont Andrarivato, à 25 kilomètres Sud-Ouest d'Ambositra ; entre Ambositra et Ivato ; Ankadimainty (2 kilomètres de Faravohitra sur la route de Betafo).

Entre Satrapotsy et la Manakaralahy, des amphibolites à fins éléments sont intercalées entre les calcaires et les quartzites et renferment un peu de diopside ; le feldspath n'est pas maclé. Sur la côte Est, ces mêmes amphibolites sont associées à des micaschistes ; elles sont souvent quartzifères et contiennent parfois de

1. Cette variété se trouve aussi au milieu des gabbros de Tsaratanana.
2. A comparer ce qui est décrit page 525, dans les quartzites.

la biotite : Androta au Sud de Vohémar (*analyse* **153**) ; région d'Andovoranto ; Antanandava, à l'Ouest-Nord-Ouest de Vatomandry (riche en sphène).

Variétés grenatifères. — Ce type d'amphibolite est parfois grenatifère ; la hornblende est d'ordinaire d'un vert brunâtre très foncé ; le grenat appartenant à l'almandin-pyrope n'a pas de formes géométriques ; tantôt ses cristaux sont de petite taille, tachetant de rouge la masse noire de la roche (Fanampiana, district d'Ambohimanga du Sud), tantôt ils constituent des porphyroblastes plus ou moins gros ; j'ai recueilli ce type dans la forêt de l'Est entre Salangina (*analyse* **150**) et Ambavanala (beaucoup de sphène avec macles secondaires, un peu de diopside et de quartz) ; à citer encore Ankaitombo ; la région de Benenitra (*analyse* **154**).

γ. **Amphibolites à épidote.** — Dans la partie supérieure des schistes cristallins, et souvent associées à des micaschistes à muscovite (côte Nord-Est), très fréquemment, on voit apparaître au milieu des amphibolites à structure nématoblastique de l'épidote (épidote ferrifère ou clinozoïsite) qui est souvent suffisamment abondante pour colorer en jaune des lits qui alternent avec d'autres, riches en amphibole.

Je citerai comme exemple les amphibolites de la Dabolava, dans le Betsiriry, celles de la région de Vohémar (Androta, tranchée de la route d'Ankijomantsina à Daraina, etc.) ; du massif de Vohitrambo près de Fénérive ; des bords de la Mananjeby entre Ambakirano et Andrahara (lits très schisteux à petits éléments et d'autres à gros grains riches en hornblende et en épidote). Des pegmatites, à gros cristaux d'épidote, sont intercalées dans ces roches qui renferment aussi des lits uniquement amphiboliques. Ces amphibolites sont fréquemment associées à des épidotites, amphiboliques ou non.

On a vu page 455 la description d'amphibolites à épidote et de schistes à épidote (*analyses* **110** et **111**) dérivant de roches volcaniques anciennes.

δ. **Composition chimique.** — La démonstration faite plus haut à l'occasion des gneiss à pyroxène, n'est pas moins nette pour les amphibolites feldspathiques ; la série est même ici plus compréhensive. Dans les analyses ci-jointes (M. Raoult), on trouve des types dont la composition chimique est comparable à celle des gabbros s'étendant depuis les gabbros quartziques (*analyse* **149**), jusqu'à des gabbros à olivine dépourvus de quartz. On peut constater que l'existence ou l'absence du grenat n'est pas la conséquence d'une composition chimique spéciale, il faut l'interpréter par des conditions particulières de cristallisation.

149) Ramartina, II'.4.4'.4' ; **150**) Salangina (grenat), III.(4)(5).3'.4 ; **151**) Andavakoera (grenat), 'III.5.4.4 ; **152**) Ambatomainty (grenat), III.5.4.4(5) ;

153) Androta (biotite), II'.5.(3)4.4 ; **154**) 10 kilomètres amont de Benenitra. II(III).5.4.4.

	149	150	151	152	153	154
SiO^2	54,10	53,75	50,10	49,55	46,10	41,08
Al^2O^3	15,52	11,35	16,28	12,55	18,36	18,62
Fe^2O^3	3,90	2,80	3,83	4,20	2,46	10,52
FeO	8,23	10,70	5,89	10,70	9,00	6,68
MgO	3,63	6,13	5,86	6,91	7,04	9,59
CaO	11,28	9,30	12,78	11,70	9,00	9,32
Na^2O	1,06	2,37	1,90	2,00	3,04	1,49
K^2O	0,43	0,87	1,32	0,49	1,57	0,91
TiO^2	1,56	2,00	1,50	1,64	2,22	1,05
P^2O^5	0,25	0,45	0,15	tr.	0,76	0,13
H^2O +	0,18	0,90	0,40	0,55	0,36	0,67
—	0,15		0,06		0,05	0,09
	100,29	100,62	100,07	100,29	99,96	100,15

Certaines amphibolites feldspathiques malgaches correspondent, au point de vue chimique, non plus à des gabbros, mais à des roches éruptives à anorthite, à des allivalites. Ce fait est mis en évidence par la comparaison de l'analyse de deux de ces roches (**150** et **151**) et de celle de l'allivalite du Fonjay (**152**) qui sera décrite page 655. On peut constater leur identité chimique presque complète malgré la différence de composition minéralogique. La haute teneur en alumine et en chaux entraîne le caractère leucocrate de ces roches ; l'amphibolite (hornblende vert clair, bytownite, et phénoblastes d'almandin-pyrope rose clair) est cependant beaucoup moins leucocrate que la roche éruptive dont elle dérive, parce que dans celle-ci l'élément coloré est de l'olivine (non alumineuse), tandis que dans le schiste cristallin, une partie de l'anorthite virtuelle entre à l'état potentiel dans l'amphibole. **150**) *gneiss à amphibole* et *grenat* d'Andranojanga, II.5.(4)5.5 ; **151**) *amphibolite feldspathique sans grenat*, Angavo, près Anjanabonoina, II'.5.'5.5 ; **152**) *allivalite* du Fonjay, II.5.5.5.

	150	151	152
SiO^2	42,43	48,50	44,12
Al^2O^3	24,98	22,50	25,33
Fe^2O^3	2,46	0,80	0,87
FeO	3,75	4,91	3,85
MgO	9,74	7,43	9,51
CaO	12,74	13,40	14,19
Na^2O	1,19	0,82	1,16
K^2O	0,54	0,35	0,17
TiO^2	0,09	0,15	0,20
P^2O^5	0,68	tr.	0,10
H^2O +	0,95	0,85	0,25
—	0,19		0,11
	99,74	99,71	99,86

b. — Types non feldspathiques.

α. **Amphibolites.** — Ces roches sont presque exclusivement constituées par de la hornblende, accompagnée seulement par un peu de pyroxène. J'ai signalé déjà page 452 les deux cas les plus intéressants : celui du mont Ankitsika et celui de Tsaramanga près de Tongafeno, et j'ai démontré comment ces roches résultent de la transformation de gabbros mélanocrates.

Au mont Ankitsika, l'amphibolite associée à une diallagite, soit sur la périphérie du massif, soit sous forme de veines traversant celui-ci, est d'un vert foncé ; elle est très fragile, s'émiette sous le choc du marteau ; l'examen microscopique y montre, en outre de la hornblende très polychroïque, un peu de diopside et d'ilménite entourée de sphène. L'amphibolite de Tsaramanga au contraire est très tenace, d'un vert jaunâtre ; l'examen microscopique y décèle la prédominance d'une amphibole d'un vert pâle dont les grandes plages sont criblées d'inclusions ferrugineuses aciculaires ou granuleuses ; il existe aussi des plages d'une autre amphibole de couleur plus pâle, à macles polysynthétiques très fines, ainsi qu'un peu de magnétite cerclée de sphène.

J'ai étudié quelques autres amphibolites qui semblent avoir une origine analogue ; les unes proviennent de la région de Maevatanana et notamment de Nandrojia, les autres du Nord-Ouest d'Ankazobe (texture coccolitique ; un peu d'augite et d'ilménite) et du sentier entre Inanatonana et Ambohimasina (un peu d'augite, de quartz et de biotite).

Enfin, il me reste à signaler un dernier type, à grands éléments comme les précédents, recueilli dans le gneiss de la région de l'Imaloto ; c'est une roche noire, tachetée de rouge sombre ; au microscope, on constate que la hornblende d'un vert foncé est accompagnée par une augite polychroïque dans les teintes violacées, à forte dispersion, rappelant l'augite titanifère des roches éruptives. Du grenat rouge est accompagné de spinelle vert et de magnétite.

J'ai rencontré à Andavakoera une amphibolite à grands éléments de hornblende brune très foncée, de biotite et de grenat dont la composition chimique donnée ci-contre, correspond aux paramètres III(IV).5(6).'4.3. Il n'existe aucune roche connue répondant strictement à cette composition ; il n'est pas improbable cependant qu'il s'agisse là d'un terme extrême de différenciation d'un gabbro ayant donné une roche riche en fer et en titane comparable, dans une certaine mesure, à l'anabohitsite ; il faut remarquer en effet, que, dans le voisinage, se rencontrent des ortho-amphibolites feldspathiques, grenatifères, que je considère comme

résultant de la transformation de gabbros (Cf. *analyse* **151**), p. 520). Voici l'analyse de cette roche :

	151
SiO^2	36,70
Al^2O^3	12,54
Fe^2O^3	3,97
FeO	18,52
MgO	6,43
CaO	10,90
Na^2O	1,22
K^2O	1,87
TiO^2	6,21
P^2O^5	0,62
H^2O +	0,57
—	0,19
	99,74

CHAPITRE II

QUARTZITES

Les quartzites sont des grès métamorphisés, exclusivement ou essentiellement constitués par du quartz, auquel, dans ce dernier cas, s'ajoutent divers minéraux dont la nature est déterminée par la composition chimique originelle du sédiment ou bien par des éléments étrangers fixés au cours de la transformation.

I. — QUARTZITES ESSENTIELLEMENT QUARTZEUX.

Deux types principaux sont à distinguer parmi les quartzites presque exclusivement constitués par du quartz.

a. — **Itacolumites.**

Le premier peut être comparé à l'itacolumite du Brésil. Les quartzites du massif du mont Bity et de son prolongement méridional au delà de la Manandona, dans le Betsileo, seront pris pour exemple de ce type qui est le plus commun à Madagascar.

Il s'agit d'une roche très cristalline, grise ou blanche, à grain fin, tantôt extrêmement cohérente, tantôt au contraire sableuse et s'émiettant sous le choc du marteau. C'est cette dernière texture qui explique la formation de grottes dans les quartzites du Bity.

Parfois dépourvus de toute stratification, ces quartzites sont souvent lités ou même schisteux; ils se débitent alors en dalles[1], Dans cette roche à grain fin, on

1. La surface de ces dalles est parfois creusée de sillons plus ou moins parallèles rappelant au premier

trouve souvent intercalés des bancs irréguliers à plus gros éléments, offrant généralement une faible cohésion et se transformant, sous l'influence des agents atmosphériques, en un sable dont les éléments anguleux sont redoutés par les bourjanes.

Des quartzites identiques à ceux du Bity abondent au Sud et à l'Ouest de Betafo (mont Olotsingy ; Anjanabonoina) et plus au Nord dans la chaîne du Tsinjomay, puis au Sud, dans celle du Vohimavo : il existe de nombreux gisements entre la Mania et la Matsiatra. Tous font partie de la série cristallophylienne supérieure, mais il en existe aussi au milieu des gneiss : forêt de l'Est sur le sentier conduisant d'Ambositra à Ifempina ; rive Sud de l'Ikopa à une vingtaine de kilomètres au Sud-Est de Tananarive ; Ambohimanoa sur l'Ikopa ; $3^{km},5$ au Nord d'Andakana, dans le lit du Mangoro ; Ankeramadinika (40 kilomètres Est de Tananarive).

A citer encore le Nord de Miandrarivo ; Ambohimahamanina (Est d'Ambohidrabiby) ; le mont Belamboany ; le mont Analabe, entre le Belamboany et l'Andringitra ; la Kiranomena (Betsiriry) ; puis sur la côte Nord-Est : le Nord de la baie d'Antongil (au Sud de Manakambahiny) ; 22 kilomètres au Sud d'Antalaha (quartzites rouges traversés par veines de quartz) ; les sources de l'Andraronga, à l'Est du Tsaratanana ; Andranomalaza (structure rubanée), à l'Est du lac Alaotra.

A Ambatofangehana (mines de cuivre Pachoud), il existe des quartzites se débitant en feuillets très minces.

b. — Quartzites vitreux.

Le second type consiste en une roche à gros éléments de quartz, à cassure vitreuse. Lui aussi, il est tantôt très cohérent et tantôt formé par des grains lâchement unis. Il est réalisé aux monts Vohibe et Hierambao, à l'Ouest d'Inanatonana ; au mont Tsiafabalala (vallée d'Ihosy) avec parfois un peu de biotite, de tourmaline, de sillimanite épigénisée en damourite ; à l'Ouest de la Kigioly, affluent de gauche de la Mania (délit en dalles absolument planes) ; îlot d'Ambato (lac Alaotra), etc. Ces quartzites sont d'ordinaire blancs, mais il en est d'autres, gris de fumée (rive gauche de la Mania, en amont de Betaimboraka) ou d'un rose analogue à celui du quartz des pegmatites (vallée de l'Isaka et de la Zanaka).

Au microscope, ces deux types de quartzites, de même que toutes leurs variétés minéralogiques qui vont être passées en revue plus loin, se montrent formés par des grains de quartz xénomorphe, plus ou moins riches en inclusions liquides à

abord des ripple marks (mont Bity et mont Andrianombalapa, près Ieninkenina). Elles sont dues en réalité à une corrosion exercée par les eaux de ruissellement ; leur aspect rappelle les *lapiaz des calcaires* de l'Ouest, les surfaces de corrosion des phonolites, etc.

bulle ; la structure clastique originelle a complètement disparu. On y observe fréquemment des phénomènes d'écrasement intenses, se manifestant par des extinctions roulantes et une structure cataclastique, etc. Près d'Ambatofinandrahana, ces quartzites présentent localement une structure bréchiforme avec fragments anguleux,

Sur le flanc occidental du mont Bity, on peut observer dans ces quartzites un singulier mode de délit ; le sol est jonché de solides allongés ayant la forme d'un cigare et possédant des dimensions à peu près identiques (1 décimètre $\times$ 2 centimètres) ; leur surface est assez irrégulière, mais lisse ; leur composition minéralogique et leur structure ne se distinguent en rien de celles du quartzite normal, vu en place. Ils sont empilés les uns sur les autres, assez lâchement unis pour qu'il soit possible de les arracher ; la section de leur empilement montre une texture prismatique rappelant celle des argiles cuites au contact des roches éruptives. Ces déformations rappellent celles du *dattel-quartz* de Krummendorf (Silésie) et de Laurgård (Norvège), qui est considéré comme un conglomérat, déformé par des actions mécaniques ; il n'est pas possible d'admettre une origine conglomératique dans les gisements malgaches, à cause de l'uniformité de dimension des solides en question et de leur mode d'agrégation. Il est plus vraisemblable que ces quartzites ont été d'abord débités en solides rectangulaires, réguliers, par des cassures perpendiculaires au plan de stratification, puis que les solides ainsi formés ont été ensuite usés par frottement les uns contre les autres, grâce à des actions mécaniques puissantes.

Il est à remarquer que le même type de délit s'observe dans les amphibolites feldspathiques du mont Tsaramody.

C'est dans les fentes ou entre les lits de ces quartzites que se trouvent la plupart des cryptes à cristaux de quartz hyalin étudiées page 204 du tome I.

Je vais passer en revue rapidement les diverses variétés minéralogiques déterminées dans les quartzites par l'apparition de minéraux accessoires.

II. — QUARTZITES A GRAPHITE.

Les quartzites intercalés dans les gneiss et les micaschistes graphiteux sont souvent eux-mêmes riches en belles lames de graphite ; mont Ambohimanoa (rive gauche de l'Ikopa) ; environs d'Ambohimanga (avec veines d'aplite renfer-

mant elles-mêmes du graphite) ; environs de Moramanga ; Andriamalandy, près Betainomby (traversés par pegmatite kaolinisée un peu graphitique) ; Besakoa (Ouest de Bekily) (quartzites à gros grain, rubanés par suite de la localisation du graphite dans des lits distincts).

A citer encore Sahamaloto, sur la Fanandrana, affluent de droite de l'Ivondrona, à 40 kilomètres de Tamatave ; 4 kilomètres Ouest du mont Ambohitsitanandro, près Bekisompo, rive droite du Zomandao (quartzites à cassure vitreuse).

Les quartzites à graphite de Fandrangato (bassin du Mananara) sont remarquables en ce que leurs grains de quartz, très translucides, laissent entre eux de nombreuses cavités, limitées par des surfaces arrondies et non pas par des cristaux distincts.

Un type moins cristallin de quartzites se trouve sur la Mania et l'Ivato ; ce sont des roches rubanées d'un gris de fer, s'émiettant sous la pression du doigt; l'examen microscopique montre qu'elles sont formées par de très petits grains de quartz colorés par une matière charbonneuse qui paraît amorphe ; elles sont parcourues par des veinules, tantôt interstratifiées, tantôt disposées dans tous les sens, dans lesquelles le quartz a recristallisé pour former des grains plus gros, qu'accompagnent quelques lamelles de muscovite.

III. — QUARZITES A MINÉRAUX RICHES EN ALUMINE.

A. — *Quartzites à silicates d'alumine.*

Deux types de quartzites à silicates d'alumine sont à signaler : ceux qui se rencontrent au milieu des gneiss sont caractérisés par la sillimanite ; ceux qui accompagnent les micaschistes supérieurs renferment soit du disthène soit de la dumortiérite.

a. — Quartzites à sillimanite.

Ce type de quartzites est très répandu et associé aux micaschistes à sillimanite. Parfois, ils sont uniquement constitués par du quartz et de petites aiguilles de sillimanite, uniformément distribuées ou localisées dans des lits distincts. Dans ce dernier cas, elles sont en outre très souvent orientées parallèlement les unes aux autres, de telle sorte que la roche possède un aspect fibreux ; ces roches sont blanches, à moins qu'elles ne soient tachetées de paillettes de biotite.

Voici quelques exemples de localités typiques ; Marotandrano, à l'Ouest de Mandritsara (avec un peu de lazulite microscopique) ; mont Ambonoma, à 3 kilomètres d'Ambohibao (région d'Ambohidratrimo) ; pied oriental du Famohizankova (Ouest du Valalafotsy) ; rive gauche de la Lalana (Horombe) ; entre la Mania et la Zomandao (lentilles très abondantes dans les schistes et les gneiss ; elles renferment parfois quelques paillettes de muscovite) ; gorges de la Matsiatra ; sur le Kisira, affluent de gauche de la Zanaka, entre Amborompotsy et Volonandrongo (ces quartzites se délitent en baguettes grossièrement cylindriques qui jonchent le sol) ; Morataitra, sur la Betsiboka, à l'Est de Maevatanana.

Parfois la composition de la roche se complique par l'existence de grains rouges d'almandin, avec quelques lamelles de biotite ou de graphite, souvent localisées sur des plans de fissilité et enfin avec des cristaux microscopiques de rutile : mont Ambohimanoa ; 1 kilomètre au Sud de Miarinarivo ; monts Ambohimiangara et Karaoka au nord du lac Itasy ; bord occidental de l'Horombe ; environs de Zazafotsy ; Est de Betroka, etc.

Dans toutes les roches qui viennent d'être passées en revue, la sillimanite constitue de petites baguettes rectilignes, mais il est fréquent qu'elle prenne une structure fibreuse (*fibrolite*) et c'est particulièrement le cas lorsque sa proportion devient très grande ; elle arrive même (environs de Miandrivazo) à former à elle seule une roche tenace, identique à la fibrolite du Massif central de la France ; comme chez nous d'ailleurs, cette variété se rencontre surtout à l'état de blocs dans les rivières (Cf. t. I, p. 406).

Je signalerai dans les tufs volcaniques basiques du petit Vontovorona des blocs de quartzite à sillimanite et grenat dont le mica et le grenat ont fondu, puis se sont altérés ; ils donnent alors une roche friable, rappelant les enclaves des tufs basaltiques de la Denise près du Puy en Velay.

Sur le Kisira, affluent de la Zanaka, entre Amborompotsy et Volonandrongo, puis au mont Ampanobe (sommet, flancs Sud et Est), des micaschistes à sillimanite renferment des lits de quartzite qui contiennent le même minéral ; dans les lits micacés, il existe aussi des nodules, surtout quartzeux ou alumineux : par altération, ceux-ci sont mis en liberté, et le sol est jonché de solides de la grosseur d'une noix, mais un peu aplatis ; ils sont constitués uniquement par du quartz et de la sillimanite.

Exceptionnellement, dans des quartzites à sillimanite, il existe de la fuchsite verte (Ambatobe dans le bassin de l'Ivoloina), de la muscovite (avec biotite, magnétite et un peu de microcline), mont Anjiajia, à 7 kilomètres Sud d'Ankarongana).

b. — Quartzites à disthène.

Au pied Sud du mont Makira, sur la rive Nord du Fanambana, au Sud-Ouest de Vohémar, se trouve un quartzite à grain fin, très dur, présentant, çà et là, des taches d'un bleu de Prusse, consistant en essaims de petits grains de *lazulite ;* sauf la présence de ce minéral, la roche paraît homogène, à l'œil nu, mais, au microscope, l'on constate qu'elle renferme une très grande quantité de petites lames de disthène parfaitement incolores et quelques grains de rutile. A cette roche, il faut en comparer une autre qui paraît un accident de quartzites normaux ; il s'agit d'un quartzite à gros éléments du mont Vohiratsiody, sur la Mania, constitué par du disthène bleu et un peu de graphite disséminés dans des grains de quartz.

Enfin, je dois à M. Michaut une roche magnifique trouvée en blocs près de Tsaravina, aux sources d'un affluent de la Lohariana (Ouest du mont Anjingijingy, dans la région de Mahanoro). Elle est constituée, en parties presque égales, par du quartz blanc, de l'almandin rouge et du disthène, en lames bleues translucides, avec quelques paillettes de graphite, des grains d'ilménite et de pyrite. Cette roche, à grands éléments, passe localement à une grenatite ; elle constitue vraisemblablement un accident minéralogique au milieu de quartzites.

Je rappellerai que des roches à grands éléments de disthène et de quartz ont été observées (Cf. t. I, p. 408) dans un certain nombre de gisements de la région cristalline de l'île : il sera intéressant de rechercher leurs relations éventuelles avec les roches décrites ici.

c. — Quartzites à dumortiérite et dumortiéritite.

J'ai étudié récemment une roche très remarquable intercalée dans les quartzites[1] d'Ankofa, à l'Est du Vatotsileo, sur le chemin de Soavina à Ambatofinandrahana ; elle est schisteuse et se fait remarquer par sa couleur violette, qui m'avait fait penser tout d'abord à une glaucophanite. Entre ses strates, se voient parfois des amandes non schisteuses, à éléments plus grands, formées par des grains de quartz et de lazulite transparente, d'un beau bleu de ciel.

Cette roche est essentiellement constituée par des aiguilles de *dumortiérite* d'une coloration bleue et d'un polychroïsme intense et par des grains de quartz, avec un peu de zircon, d'hématite et de rutile ; par places, le quartz se raréfie ou

1. D'après une observation de M. Pradier qui a bien voulu rechercher cette roche, elle affleure sur environ 40 mètres.

disparaît, les aiguilles cessent d'être orientées d'une façon parallèle, elles s'enchevêtrent et il apparaît un peu de biotite. Enfin il existe des variétés schisteuses constituant de véritables *dumortiéritites* formées par des aiguilles de dumortiérite souvent brisées et tordues; elles sont accompagnées par de très petites paillettes de muscovite et d'hématite : ailleurs, au contraire, c'est la proportion de dumortiérite qui diminue et la roche passe au quartzite normal.

Les amandes non schisteuses dont il vient d'être question permettent d'interpréter l'origine d'une autre roche. Elle est à grain moyen ; au milieu de quartz coloré en rose violacé par de la dumortiérite, de la *lazulite* forme des essaims de petits grains translucides, bleu de ciel, accompagnés de disthène incolore.

Ce quartzite à dumortiérite semble n'avoir jusqu'ici qu'un seul équivalent ; à la couleur près, il rappelle celui de Dehesa en Californie, près San Diego, que j'ai vu en place et qui m'a paru être en relation avec un contact granitique ; j'ai signalé déjà (tome I, p. 401) que M. Schaller lui a attribué une autre origine ; il considère comme éruptive cette roche non schisteuse et beaucoup moins riche en dumortiérite ; l'hypothèse métamorphique trouve un appui dans la roche malgache décrite ici ; l'abondance du bore dans la dumortiérite implique l'intervention d'actions pneumatolytiques, facilement expliquable par la proximité du granite. Je donne ci-contre la composition de la dumortiéritite micacée, celle des quartzites s'en déduit aisément par addition de quantités progressives de silice.

154) *Dumortiéritite*. Ankofa (M. Raoult) ; *a*) *Quartzite à dumortiérite*, Dehesa (M. Schaller, *op. cit.*).

	154	*a*
SiO^2	39,70	75,54
Al^2O^3	42,81	18,65
Fe^2O^3	5,62	0,35
FeO	2,27	0,06
MgO	0,06	»
CaO	0,22	0,03
Na^2O	0,89	»
K^2O	2,37	»
TiO^2	0,91	0,48
P^2O^5	0,19	tr.
H^2O +	1,98	3,67
—	0,14	1,10
F	0,17	»
B^2O^3	2,61	»
	99,94	100,04[1]

Dans la région de Soavina (Andranibe, collines de Tsiafatsamboara), se trouvent

1. Y compris ZrO^2 0,06 ; FeS^2 0,10.

aussi des blocs de quartz, renfermant des croûtes fibreuses de dumortiérite ayant de 4 à 5 centimètres de longueur ; ils jouent probablement dans ce gisement le même rôle que le quartz à grands cristaux de disthène dont il a été question plus haut, dans les micaschistes.

B. — *Quartzites à lazulite.*

La lazulite, d'ailleurs, se rencontre assez fréquemment comme élément accessoire dans les quartzites malgaches, nous en avons vu déjà plusieurs exemples, mais dans le massif du mont Bity, au Nord du mont Tsilaizina, elle est distribuée régulièrement dans certains lits de quartzite, non plus en grains mélangés à ceux de quartz, mais inclus dans ceux-ci et les colorant en bleu ; elle est accompagnée par quelques cristaux de sillimanite, de rutile et de muscovite. Ces roches sont de véritables quartzites à lazulite.

Au Sud de Betafo (Ranomainty, Ialamalaza), des cristaux de lazulite, moins régulièrement distribués, dans les quartzites, atteignent plusieurs millimètres de plus grande dimension.

Au point de vue du mode de gisement, ces quartzites à lazulite doivent être comparés à ceux des Graves Mountains, dans le Lincoln C°, en Géorgie. D'après M. Thomas L. Watson et J. Wilbur Watson[1], les Graves Moutains sont constituées par des quartzites, schisteux à la base (avec paillettes de séricite, grains de rutile et disthène) et compactes au sommet ; c'est dans cette dernière variété que se trouvent, avec disthène d'un vert pâle et petits cristaux de rutile, les beaux et gros cristaux de lazulite qui ornent toutes les collections ; il existe aussi quelques paillettes de muscovite et de pyrophyllite, minéral constituant aussi dans la roche des veines avec rosettes de grandes lames.

Les énormes et magnifiques cristaux de rutile qui ont contribué aussi à rendre célèbre ce gisement sont engagés dans une roche de disthène jaune et d'hématite, légèrement quartzifère ; elle paraît constituer des veinules dans les quartzites.

M. Battini m'a signalé l'existence dans la région d'Ankofa de gros fragments de lazulite, minéral qui, comme je l'ai montré t. I, p. 356, forme avec muscovite et quartz, des filonnets dans la série quartzito-schisteuse.

Ces gros cristaux de lazulite, dépourvus de formes, doivent être comparés à ceux que l'on trouve dans les alluvions de la province de Miñas Geraes et l'on ne saurait distinguer les échantillons, privés de leur gangue, provenant de l'une ou l'autre de ces régions. Il est vraisemblable qu'au Brésil le gisement originel, qui n'a pas été déterminé, est le même qu'à Madagascar.

1. *Bull. Philosoph. Society University Virginia Charlottesville, Sc. ser.*, t. I, No 7, 1912, p. 200.

IV. — QUARTZITES MICACÉS.

Dans ces quartzites, le minéral métamorphique principal est un mica ; il est probable que le sédiment originel a été une arkose, sauf dans le cas où la roche a été métamorphisée par le granite et où l'on doit peut-être faire intervenir une action pneumatolytique pour expliquer la présence d'un minéral potassique.

Quand les micas sont très abondants, ils s'orientent ; la roche devient schisteuse, surtout si le mica se concentre dans des lits distincts et l'on observe fréquemment des passages aux micaschistes. Le mica appartient à des espèces variées. Quant au quartzite lui-même, il se rapporte soit au type *itacolumite*, soit au type à cassure vitreuse.

A. — *Quartzites à biotite.*

Ce cas est particulièrement réalisé dans les quartzites passant aux micaschistes ou à des schistes micacés (bords de l'Ivato, Ambatofinandrahana).

A Antimenabe, au Sud de la Manandona, sur le prolongement du mont Bity, ces quartzites sont très hétérogènes ; des lits très micacés alternent avec d'autres qui le sont moins. Les premiers passent aux micaschistes ; ils renferment de nombreux prismes microscopiques de tourmaline et des phénoblastes de muscovite dont l'orientation est sans rapport avec le rubanement de la roche. Un quartzite analogue se trouvant à l'Ouest d'Itremo contient, en outre, de nombreux granules d'épidote ; les phénoblastes de muscovite sont poecilitiques par rapport aux autres minéraux.

Des quartzites à biotite des environs de Maevatanana sont un peu feldspathiques. Les calcaires du sommet du mont Ampanobe, traversés par les pegmatites zirconifères, renferment des bancs d'un quartzite vitreux à biotite. Sur la rive gauche de la Mania, en aval de Betaimboraka, des quartzites assez riches en biotite ont leur mica verdi par des actions secondaires.

Enfin, il me reste à signaler à Tananarive (fort Duchesne) des quartzites dans lesquels la biotite, au lieu d'être régulièrement distribuée, comme dans les roches précédentes, ne forme que de petites paillettes clairsemées sur un fond blanc de quartz.

B. — *Quartzites à muscovite.*

A Ihosy, dans la vallée de la Sahatany, dans le massif même du mont Bity et sur son prolongement au Sud de la Manandona, à Fitamalama par exemple, les quartzites du type itacolumite renferment de la muscovite sous forme de petites paillettes incolores, ils sont riches en tourmaline noire microscopique.

Entre Ambodimadiro et Morafeno, sur la Manambato, des quartzites friables doivent leur fissilité facile à de très petites paillettes de muscovite disposées suivant des plans privilégiés, et il en est de même pour certains quartzites de la région d'Ambatofinandrahana.

Les quartzites à muscovite des bords de la Mania, en aval de Betaimboraka, appartiennent au type à gros grain et à cassure vitreuse; leur muscovite, également à grands éléments, est orientée, mais ne constitue pas de lits continus.

Les quartzites à muscovite et tourmaline du mont Tsitondroina présentent une cohésion différente suivant leur situation dans la montagne; friables au sommet, ils sont vitreux et résistants 400 mètres plus bas.

Dans quelques gisements (rive Sud de l'Ikopa à une vingtaine de kilomètres au Sud-Est de Tananarive et à Tsarahonenana), la muscovite est distribuée sur les plans de fissilité sous forme de petites taches équidistantes. Il s'agit là d'une structure due à des actions mécaniques, analogue à celle qui, dans la vallée de Luz (Hautes-Pyrénées), a transformé de minces couches schisteuses alternant avec des calcaires en une sorte de damier, formé par des parallélipipèdes schisteux noirs, séparés par du calcaire blanc (écrasement de la roche déformable et disjonction des lits schisteux résistants).

Dans quelques gisements malgaches, la muscovite est chromifère (*fuchsite*) et d'un beau vert émeraude très éclatant; tel est le cas de quartzites à gros grain renfermant des paillettes de ce mica (2 à 3 millimètres) se trouvant à Ambatobe, au Sud-Ouest du confluent de l'Ivoloina et de la Volotarana; quand ils sont riches en fuchsite, ils sont très friables; d'autres variétés ne renferment ce minéral qu'en petite quantité, associé à un peu de muscovite et parfois à beaucoup de sillimanite: ils sont à gros grain vitreux et très cohérents.

Des quartzites analogues se rencontrent dans la même région, à Ambohibe près d'Ambodiriana; le mica est moins chromifère et il est mélangé à de la muscovite incolore; la même particularité caractérise les quartzites d'Analandrangoro à 2 kilomètres au Sud d'Amberomalaza près Fenoarivo, dans la région d'Ambatofinandrahana.

C. — *Quartzites à tourmaline.*

Les quartzites renferment souvent de la tourmaline comme minéral accessoire, mais il en est dans lesquels ce minéral devient si abondant qu'il constitue une caractéristique essentielle de la roche ; tel est le cas pour des quartzites de Mandrina, près du placer d'Ambohimanga (près Mahanoro), le rubanement est rendu distinct par la tourmaline qui est aciculaire et quelquefois disposée en palmes. Des lamelles de muscovite sont distribuées sur les plans de schistosité. Cette roche, très fragile, est traversée par des veinules de quartz.

A Ambatorangotra, sur la rive gauche de la Mania, en amont de Betaimboraka, puis dans le bassin de l'Isaka et de la Zanaka et enfin aux monts Vohibe et Hierambao, se trouvent des quartzites noirs ou gris de fumée, à grain variable et à cassure vitreuse, colorés par de petits cristaux de tourmaline ; cette roche, de même que les quartzites du mont Bity, est traversée par des agrégats finement grenus de tourmaline noire, à aspect charbonneux, ou renferme des lits de tourmaline grenue, peu cohérente.

V. — QUARTZITES A MAGNÉTITE.

A. — *Quartzite à magnétite seule.*

Des roches essentiellement constituées par du quartz et de la magnétite forment un des types lithologiques les plus remarquables parmi les schistes cristallins de la Grande Ile. Elles ont en outre un intérêt économique, d'une part parce qu'elles constituent le principal minerai de fer de la Colonie (voir page 73), et d'une autre, parce qu'elles sont fréquemment aurifères (région de Maevatanana).

Ces quartzites sont à grain moyen, parfois rubanés ; le degré de cohésion est très variable ; certains types sont très cohérents, très durs, avec cassure vitreuse, alors que d'autres sont friables et tombent en arène sous le choc du marteau. La magnétite se présente soit en octaèdres réguliers inclus dans le quartz, soit en grains xénomorphes moulant ce minéral. Aux affleurements, elle est souvent transformée, au moins partiellement, en hématite (martite) et parfois en limonite.

Les quartzites à magnétite se rencontrent à divers niveaux des schistes cristallins ; dans le Nord-Ouest de l'île, ils accompagnent les micaschistes ; dans la forêt de l'Est, les gneiss. On pourrait établir parmi eux de nombreuses variétés depuis

des types essentiellement quartzeux, jusqu'à d'autres, dans lesquels la magnétite est tellement abondante qu'ils passent à des roches presque exclusivement constituées par ce minéral.

Ces quartzites sont particulièrement abondants dans l'Antsihanaka : sur les rives Nord et Est du lac Alaotra et, dans celui-ci, à l'îlot d'Anosy. A Andilana, ils forment le toit du filon de pegmatite ; une variété est essentiellement constituée par de gros grains de magnétite, à plans de séparation suivant a^1 faciles, par lesquels s'effectue la transformation en hématite terreuse rouge ; il existe un peu de muscovite. J'ai particulièrement étudié en place ces quartzites, entre Imerimandroso et la forêt, où ils sont très friables. Ils forment de petits lits très répétés entre le lac et le Tampoketsa de Tsaratanana.

Au Sud-Est du lac et tout le long de la falaise de la forêt de l'Est, les gisements sont très nombreux ; je citerai notamment ceux de la région de Mantasoa (Andrenirano, au Nord du sommet Ambohibe, Ambatolaona, etc.) ; Ambodiala près Ambohimanga, au Nord de Tananarive. A citer encore : Fihaonana, dans le Vonizongo ; Anjamanga, à l'Ouest d'Ambohibeloma ; le mont Ambohimanoa ; la région d'Andramasina (Nord d'Ambohidraondriana) ; Nord d'Ambohitromby, entre Andramasina et Ambatolampy ; le kilomètre 115,5 de la route de Tananarive à Antsirabe ; le kilomètre 86,2 sur la route de Tananarive à Miarinarivo, etc.

Dans le Mandridrano, à Tsimbolovolo, des quartzites de ce genre, avec lits très riches en magnétite, sont aurifères avec or visible. Dans le Betsiriry, des types à grain fin se rencontrent aux environs d'Ankavandra.

Une des régions les plus remarquables pour l'étude de ces roches est celle de Maevatanana, où elles forment des lentilles discontinues, généralement aurifères, avec parfois (Mandraty) de l'or visible. Il existe des variétés à gros grain, dans lesquelles le quartz ou la magnétite s'isolent en lits distincts. L'abondance de ces roches explique l'exceptionnelle richesse en magnétite des alluvions aurifères de cette partie de Madagascar.

Les mêmes roches se rencontrent encore dans les schistes cristallins de l'Ambongo (vallée de la Miako) ; dans le pays Bara au Nord-Est d'Ihosy ; à Lamboany entre Mandazaka et Zazafotsy ; à 5 kilomètres au Nord-Est d'Anilobe, sur la rive gauche de la Mananara ; dans l'Androy, aux environs d'Ankilimaro, etc.

Les quartzites à magnétite de Madagascar ressemblent beaucoup à ceux qui, au Gabon, se rencontrent entre Alembe et l'Okanda ; dans certains des échantillons que je dois à M. Arsandaux, j'ai observé des pseudomorphoses en quartz et magnétite d'un minéral qui paraît avoir été une amphibole ; elles sont comparables à celles qui vont être décrites plus loin.

B. — *Quartzites à magnétite et amphiboles ferrifères.*

Sur la Besafotra, au Sud de Maevatanana, les quartzites à magnétite renferment des lits d'une roche qui, à l'œil nu, semble uniquement constituée par de petites aiguilles très éclatantes de *grunérite*, d'un jaune brunâtre, au milieu de laquelle se remarquent quelques taches d'une amphibole d'un vert noir (hudsonite) ; l'examen microscopique fait voir qu'il existe une assez grande quantité de quartz granoblastique renfermant des grains et des octaèdres de magnétite.

Dans la région de Maevatanana, il existe aussi des quartzites à cassure vitreuse, ne contenant qu'une petite quantité de grains de magnétite, mais beaucoup d'aiguilles de *cummingtonite*, d'un vert pâle, rappelant parfois par leur finesse, celles de sillimanite. Elles sont enveloppées dans le quartz et souvent enchevêtrées. Cette roche a un grand intérêt, car elle permet d'interpréter une variété de quartzite à magnétite renfermant des lits colorés par des aiguilles d'un jaune d'or, à éclat soyeux, que l'on rencontre dans la même région, et que j'ai trouvée aussi à l'Est du lac Alaotra, entre Imerimandroso et Tsarahonenana. J'ai montré [145] comment l'examen microscopique permet de constater que ce minéral fibreux n'est autre chose qu'une pseudomorphose en limonite de l'amphibole précédente ; ces pseudomorphoses sont identiques au minéral d'Antonio Pereira, au Brésil, qui a été autrefois décrit comme espèce spéciale sous le nom d'*anthosidérite*.

A Ambohipaka, sur la rive droite du Manombo (Ambongo), des quartzites, pauvres en magnétite et riches en pseudomorphoses de ce genre, sont associés à des quartzites à hématite. Ils forment de petites collines rocailleuses, entourées de dépressions qui correspondent à des gneiss amphiboliques et à des amphibolites très altérées.

Aux environs de Maevatanana, il existe aussi des quartzites à cassure vitreuse, de couleur rouge foncé ; dans les grains du quartz apparaissent des squelettes d'aiguilles d'amphibole, transformées en un mélange de quartz grenu et d'hématite. Le quartz de ces pseudomorphoses est à éléments presque aussi gros que celui constituant le reste de la roche.

C. — *Quartzites à magnétite et pyroxènes.*

Au Sud-Ouest de Maevatanana, se trouve un quartzite à gros grain, à cassure vitreuse, qui possède une belle couleur noire, L'examen au microscope fait voir

qu'assez riche en magnétite, il renferme en outre un pyroxène incolore en lames minces, se transformant en une amphibole à peine verdâtre.

Les gneiss du bas bassin du Manampatra renferment à l'Ouest de Vohimarivo, des intercalations d'un quartzite à gros grain, à cassure grasse, coloré en vert sombre par de la hédenbergite et un peu de hornblende verte qui accompagne la magnétite. La plus grande partie des minéraux colorés est postérieure au quartz.

Un quartzite d'Ambohimarina, voisin du gîte aurifère, renferme de l'augite, de l'hypersthène, de la hornblende d'un vert très foncé (2 V très petit), et une amphibole incolore à macles multiples. J'ai observé aux environs d'Imerimandroso (Ambohimirahavavy), un quartzite vitreux à magnétite assez riche en hypersthène, dépourvu d'inclusions ferrugineuses, avec un peu de diopside; ces pyroxènes sont moulés par la magnétite. La même roche se trouve au Nord-Ouest de Manjakazafy, dans la région d'Ambohimena.

D. — *Quartzites à magnétite avec structure jaspiforme.*

Les quartzites aurifères de Maevatanana sont parfois très pyriteux et présentent un mode d'altération sur lequel il importe d'insister ; la roche ne possède plus que par place l'aspect vitreux du type normal ; elle est en partie terne, colorée en rouge plus ou moins foncé ou en jaune et possède la texture compacte et l'aspect d'un jaspe. L'examen microscopique fait voir que ces portions fortement colorées sont essentiellement constituées par des concrétions finement fibreuses de calcédonite à enroulement, teintées par des inclusions d'hématite pulvérulente. Quelques échantillons moins altérés mettent sur la voie du mécanisme de la transformation. Des aiguilles d'amphibole, dont il a été question plus haut, sont en partie transformées en hématite plus ou moins déshydratée et en partie en calcédonite. Il s'agit donc là d'une transformation complète d'amphibole, qui a été probablement déterminée ou tout au moins aidée par l'oxydation de pyrite dont la place est souvent elle-même occupée par la calcédonite. Les grains de quartz du quartzite sont naturellement intacts au milieu de ces produits secondaires.

Un quartzite, dans lequel des grains de quartz se détachent sur un fond brun à texture compacte, a été recueilli sur l'Ingalana, à proximité de la chaîne des Vavavato ; il a sans doute une semblable origine, bien qu'il ne reste aucune trace du minéral silicaté. La pâte brune se résout au microscope en un agrégat de petits grains de quartz et de concrétions de limonite ; la magnétite (martite) forme de très petits cristaux, peu abondants.

Ce même type, devenu jaspeux par altération, se rencontre aussi dans l'Androy,

en amont de Bekitro et près d'Isafary ; dans cette dernière localité, des quartzites compacts et rubanés renferment du graphite ; le métasilicate (pyroxène?) totalement épigénisé par du quartz, avec ou sans limonite, forme de gros cristaux et non des aiguilles comme dans les roches précédentes[1].

VI. — QUARTZITES A HÉMATITE (ITABIRITE).

Ce type de quartzite plus ou moins riche en quartz et rappelant l'itabirite du Brésil, est exceptionnel à Madagascar. A Ambohipaka, et au Sud-Ouest de Maevatanana, il est associé à des quartzites à magnétite ; des lamelles d'hématite, aplaties suivant la base (finement striée à 60°) sont distribuées sans ordre au milieu de gros grains vitreux de quartz ; il existe beaucoup de limonite, qui paraît épigéniser une amphibole ferrifère disparue.

A Ambatofangehana (mine Pachoud), se trouve, intercalée entre le micaschiste et les quartzites très fissiles, une roche noire fort dure, formée de quartz, d'hématite grenue, avec de petites aiguilles de tourmaline bleue et quelques lamelles de muscovite. Une partie du quartz est recristallisé et englobe l'hématite, mais on distingue aussi des grains plus anciens de quartz, dépourvus d'inclusions, sur lesquels s'est orienté le quartz néogène, riche en hématite.

VII. — QUARTZITES A MINÉRAUX CALCIQUES ET MAGNÉSIENS.

Ces quartzites résultent du métamorphisme de grès à ciment marneux, plus ou moins ferrugineux et magnésien.

A. — *Quartzites grenatifères.*

Ces roches sont caractérisées par l'abondance d'un grenat brun rouge qui n'est plus de l'almandin, comme dans les quartzites à sillimanite, mais un grossulaire ferrifère passant à l'andradite. J'en ai recueilli de très beaux exemples sur le

1. Au mont Ambohitromby, entre Imerimandroso et Ambatondrazaka, des quartzites à magnétite renferment aussi des pseudomorphoses en quartz et magnétite d'un minéral disparu. Au milieu de ces roches sont intercalés d'autres quartzites, ayant renfermé un silicate entièrement détruit et remplacé par de la faratsihite jaune citron, minéral qui, sous forme de masses compactes, remplit aussi les fentes de la roche.

sentier allant du lac Alaotra à Mahambo, d'abord entre Tsarasambo et Salangina, puis à la descente qui précède le village de Sahatavy : ce sont des roches très denses, dans lesquelles le grenat, associé à de l'hédenbergite et de la magnétite, arrive localement à former presque entièrement la roche qui devient alors une *grenatite* ; ce grenat enveloppe poecilitiquement le quartz.

Des roches analogues se trouvent près d'Ankadinandriana sur le chemin de Tsiafahy ; à Ampasimbe, entre Tananarive et Andovoranto, et aussi sur la bordure du Massif cristallin, au Sud du parallèle d'Andranosamonta.

Au sommet du mont Ampanobe (gisement de zircon), il existe, associés à des calcaires cristallins, des quartzites légèrement rosés et formés par du quartz et du grossulaire qui, à l'inverse du grenat des quartzites précédents, est très pauvre en fer ; quand il devient prédominant, la roche passe à une véritable grenatite. Une roche analogue se trouve au Mont Tsitakondaza, au Sud-Ouest d'Arivonimamo.

B. — *Quartzites à épidote.*

Des quartzites d'un jaune verdâtre, assez denses, dans lesquels le quartz est accompagné d'épidote se trouvent à Ambohimilemaka ; au Nord du mont Vohimena, à l'Ouest de Midongy ; à Mandro près Betafo.

Les micaschistes de Soanierana renferment des intercalations de quartzites du même genre, dans lesquels le quartz et l'épidote sont associés à un peu d'amphibole et de sphène ; l'épidote se concentre parfois dans des lits distincts qui conduisent à de véritables *épidotites*.

Le récif situé près Manambia, au Sud de Maroantsetra, renferme une épidotite très quartzeuse jaune, tachetée de blanc. L'épidote, associée à des paillettes de biotite, forme comme une poussière de petits grains transparents dans du quartz granoblastique.

C. — *Quartzites à pyroxène et amphibole.*

Un exemple de cette variété est réalisé à Ankandrambazaha ; les minéraux métamorphiques accompagnant le quartz sont le diopside et l'actinote.

Enfin, au Sud du mont Ravotay, les calcaires cristallins renferment un banc d'un quartzite noir, formé par des grains de quartz et d'une hornblende d'un vert foncé, avec un pigment charbonneux très fin, irrégulièrement distribué.

IX. — QUARTZITES A MINÉRAUX MAGNÉSIENS.

Quartzites chloriteux.

Sur une colline située entre Maevatanana et Nandrojia, sont intercalées, au milieu des micaschistes ou des gneiss surmicacés et des quartzites à amphibole limonitisée, deux roches assez énigmatiques. L'une, compacte, à aspect d'hälleflinta, est verte, marbrée de rouge ; l'examen microscopique montre qu'elle est constituée par de très petits grains de quartz et des paillettes d'une chlorite incolore, ayant à peu près la même biréfringence qu'eux, avec des grains de magnétite assez clairsemés ; la couleur rouge de la roche est due à des imprégnations ferrugineuses diffuses ; la chlorite est voisine de la leuchtenbergite. Ce quartzite est parcouru de veines microscopiques de quartz et de calcédonite.

La seconde roche est franchement schisteuse, riche en paillettes de cette même chlorite qui paraît épigéniser une amphibole aciculaire qu'accompagne un peu de quartz.

L'analyse du premier type (M. Raoult) donne la composition suivante :

	155
SiO^2	72,32
Al^2O^3	6,05
Fe^2O^3	3,23
FeO	2,41
MgO	8,87
CaO	0,68
Na^2O	0,73
K^2O	0,33
TiO^2	1,83
P^2O^5	0,31
H^2O +	3,25
—	0,18
	100,19

CHAPITRE III

ROCHES ESSENTIELLEMENT MAGNÉSIENNES

Ces roches comprennent les *serpentines*, les *talcschistes* et les *chloritoschistes*.

I. — SERPENTINES.

Rouquette m'a remis des échantillons d'une serpentine noble, d'un beau jaune d'or, provenant de la région des calcaires cristallins, entre Ranopiso et Behara (Androy). L'examen microscopique montre une antigorite structure maillée, au milieu de laquelle subsistent des fragments intacts de forstérite, accompagnés d'un spinelle presque incolore.

Il s'agit là d'une serpentine, formée aux dépens d'un agrégat granoblastique de péridot magnésien (ou de humite), semblable à celui des calcaires cristallins de Ceylan, et non pas aux dépens d'une péridotite éruptive.

II. — TALCSCHISTES.

Ces roches sont exclusivement constituées par des lamelles de talc. Elles sont blanches, onctueuses au toucher et se taillent facilement au couteau (stéatite) ; elles peuvent être diverses d'origine.

Les unes, en effet, sont des sédiments magnésiens métamorphiques ; tel est le cas des bancs de talc si fréquents dans les calcaires paléozoïques métamorphisés par le granite des Pyrénées-Orientales et de l'Ariège. C'est certainement aussi le cas des stéatites schisteuses ou compactes formant des lits dans la série calcaréo-quartziteuse de la vallée de la Sahatany et du mont Bity (environs de Fitamalana et, versant oriental du mont Bity, à Ambohiponenana, et à Ifosa, près Ambohimanarivo). Elles consistent en des roches blanches, d'un gris verdâtre ou parfois un peu

verdâtre. A Ambohiponenana, se trouve une variété formée de lame, assez grosses de talc blanc ; elle renferme en grande quantité des cristaux raccourcis de tourmaline magnésienne. Comme autre exemple, je signalerai les talcschistes de la vallée de la Mitody, affluent de la Matsiara et ceux des environs d'Itremo.

Une autre catégorie de talcschistes est très certainement le résultat de la transformation de péridotites[1] ; ce cas est réalisé par la roche qu'on rencontre à Ankorimpo, à l'Ouest de Vohémar, sur le bord d'un massif granitique. C'est une roche non schisteuse, à gros éléments, résultant de l'enchevêtrement de lames de talc, de clinochlore et de baguettes de trémolite, en partie transformée en talc. Elle se taille au couteau, elle peut se tourner ; j'ai donné page 175 des indications sur l'usage que les Arabes en ont fait antérieurement à l'arrivée des Européens dans la Grande Ile.

Une roche analogue se trouve sur la Besafotra (affluent de la Menavava), au Sud de Maevatanana ; elle renferme de la chlorite et des aiguilles de trémolite transformées en talc. Un autre type est constitué par de petites paillettes blanches de talc, englobant une grande quantité de baguettes d'actinote d'un vert foncé : ces talcschistes accompagnent les chloritoschistes dont il est question page 545. Un type comparable, mais dépourvu de chlorite, existe à Maroantova (Ampasary)[1].

Je donne ci-contre : **156**) l'analyse (M. Raoult) du *talcschiste chloriteux à trémolite* d'Ankorimpo, et comme comparaison ; *a*) celle de la *lherzolite* de Porteteny à Vicdessos (Ariège) qui est, plus magnésienne, mais moins ferrifère (*in* A. Lacroix. *C. Rendus*, CLXV, 1917, p. 381) : comme cela est fréquent dans les transformations de ce genre, une partie du fer de la roche originelle a dû être peroxydée.

	156		*a*
SiO^2	43,82		44,10
Al^2O^3	6,36		6,95
Fe^2O^3	12,57		2,76
FeO	3,92		5,87
MgO	25,73		36,25
CaO	2,28		3,30
Na^2O	0,91		0,19
K^2O	0,26		0,14
TiO^2	0,49	Cr^2O^3	0,10
P^2O^5	0,11	MnO	0,19
H^2O+	3,32		0,35
—	0,15		»
	99,92		100,20

1. Il faut être réservé sur l'interprétation de l'origine du talc renfermant des aiguilles de trémolite en partie transformées en talc. On a vu (page 436) en effet qu'une telle association forme des veines dans la péridotite éruptive de Valojoro.

III. — ANTHOPHYLLITITES ET GÉDRITITES.

J'ai rencontré [55] la première de ces roches au mont Tsilaizina (massif du mont Bity). A l'œil nu, elle paraît être exclusivement constituée par de l'anthophyllite brune, en fibres de 10 centimètres de longueur, mais l'examen microscopique montre que ces fibres sont enveloppées par de grandes plages de cordiérite parfaitement fraîches et riches en auréoles polychroïques jaunes et par des grains de quartz; il existe en outre de l'apatite et des lames d'ilménite. Quelquefois l'anthophyllite forme des faisceaux de fibres disposées dans les plans de schistosité avec beaucoup de quartz granoblastique qu'englobe poecilitiquement la cordiérite. Enfin, on voit apparaître de la biotite et la roche passe alors soit à des quartzites, soit aux micaschistes voisins. Cette roche est associée à des lits de cordiérite et de quartz à très grands éléments et à des chloritoschistes.

Elle offre la plus grande ressemblance, à la fois minéralogique, structurale et chimique, avec la roche décrite par M. Pentti Eskola[1] sous le nom de « cordiérite-anthophyllite-rock », roche qui joue un rôle important dans l'auréole métamorphique du granite à oligoclase d'Orijärvi (Finlande), mais dont la composition est parfois plus compliquée, par suite de la présence de sillimanite, de grenat et de pyrrhotite. Grâce à l'obligeance de mon savant collègue, il m'a été possible de comparer des échantillons des deux régions. M. Eskola regarde cette roche comme le résultat de la transformation, par pneumatolyse, d'une roche de nature indéterminée, aucun sédiment n'étant connu, qui soit à la fois aussi riche en magnésie et en alumine, en même temps que presque dépourvu de chaux et d'alcalis.

Analyse **157**) Tsilaizina (M. Raoult); *a*) Träskböle, Perniö (M. Pentti Eskola).

	157	*a*
SiO^2	51,08	48,00
Al^2O^3	14,43	18,62
Fe^2O^3	7,17	1,07
FeO	8,07	16,18
MgO	14,00	11,85
CaO	0,72	0,64
Na^2O	0,42	0,23
K^2O	0,27	0,01
TiO^2	1,99	2,06
P^2O^5	0,13	0,09
H^2O +	1,44	1,50 (+ et —)
—	0,40	
	100,12	100,57[2]

1. On the Petrology of the Orijärvi region, *Bull. Com. géol. Finlande*, Helsingfors, No 40, 1914, p. 169 et aussi, No 14, 1915, p. 66.
2. Y compris MnO 0,13; V^2O^3 0,04; Fe^7S^8 0,15.

J'ai rencontré vis-à-vis Antanety, entre Tsinjoarivo et Maizimanjaka (Ouest de Betafo), des bancs épais d'une roche exclusivement constituée par de la gédrite brune fibreuse. Ils sont associés à des micaschistes à cordiérite et à des micaschistes riches en grenat.

IV. — MANJAKITE.

J'ai donné ce nom [143] à une magnifique roche, se trouvant au milieu des gneiss, près de la Talaviana, à 3 kilomètres au Nord-Est d'Ambohimanjaka (à une cinquantaine de kilomètres au Sud d'Antsirabe) et à Volotara, entre cette localité et Ambodifiakarana.

Cette roche, formant un banc d'environ 3 mètres d'épaisseur au milieu des gneiss, a une composition quelque peu hétérogène. En partie à gros grain et noire, en partie à grain plus fin et d'un noir grisâtre, elle renferme, distribués assez régulièrement, des phénoblastes translucides d'almandin-pyrope [1] d'un rouge sang, mesurant jusqu'à 2 centimètres de diamètre. A l'œil nu, on distingue des lames de biotite, un pyroxène, et fort peu de feldspath localisé dans les portions grisâtres. Ces minéraux ne sont pas orientés.

Le microscope permet d'ajouter à cette composition un peu de magnétite et d'apatite et de voir que le feldspath, très peu abondant, est constitué par du labrador. L'hypersthène est très coloré, très polychroïque et riche en fines inclusions filiformes de magnétite ; son analyse, donnée page 509 du tome I, se fait remarquer par une exceptionnelle richesse en alumine. La structure est granoblastique.

L'*analyse* **158** (Boiteau) est remarquable par une haute teneur en fer et en magnésie, en même temps que par une proportion notable d'alcalis (avec prédominance de la potasse) et fort peu de chaux. Le rapport de l'orthose au plagioclase calculé est voisin de 1, ce qui indique un caractère monzonitique, mais on ne peut comparer cette roche aux kentallénites, à cause de sa pauvreté en chaux ; parmi les roches possédant les mêmes paramètres magmatiques (III.5.'3.2'), il n'en existe aucune qui soit aussi peu calcique.

L'origine de cette roche reste douteuse ; si elle ne doit pas être rapprochée génétiquement de l'anthophyllitite à cordiérite dont elle diffère par une teneur moindre en silice et par sa richesse relative en alcalis, peut-être pourrait-on songer à l'hypothèse d'une ancienne roche éruptive de composition spéciale ; on pourrait, dans ce cas, la comparer à la péridotite à biotite du Kaltes Thal, près Harzburg, dans le Harz, qui est beaucoup moins siliceuse et dans laquelle, par suite,

1. L'analyse de ce grenat est donnée tome I, p. 466.

il existe de l'olivine au lieu d'hypersthène ; elle ne contient pas de feldspath. Comme la manjakite et plus qu'elle encore, cette péridotite renferme un excès d'alumine qui se traduit par la présence de spinelle.

Analyses **158**) de la *manjakite* (M. Boiteau), *a*) de la *péridotite à biotite* du Kaltes Thal, par M. Hirschi[1].

	158	*a*
SiO^2	43,06	34,71
Al^2O^3	16,04	10,74
Fe^2O^3	4,48	7,38
FeO	11,30	14,31
MnO	0,18	»
MgO	16,52	19,09
CaO	2,00	0,45
Na^2O	1,08	0,95
K^2O	3,14	4,97
TiO^2	1,76	6,12
P^2O^5	0,12	»
H^2O +	0,45	1,24
—	0,09	0,18
	100,22	100,14

V. — CHLORITOSCHISTES.

Les chloritoschistes sont des roches essentiellement constituées par des paillettes ou par des lames de chlorites (pennine ou clinochlore) ; elles sont généralement colorées en vert de diverses nuances ; je dis généralement, car il existe, notamment à Madagascar, des exceptions à cette règle. Le plus souvent ces roches sont schisteuses et souvent très schisteuses. Au point de vue géologique, les chloritoschistes sont associés aux micaschistes, mais dans leur partie tout à fait supérieure. Au mont Ampanobe, sur la Manananantanana et dans la région de Midongy, il existe des chloritoschistes, à éléments fins, qui sont satinés, blancs, ou à peine verdâtres ; aussi possèdent-ils un toucher gras qui, joint à leur couleur, pourrait les faire prendre pour des *talcschistes*. L'examen microscopique fait voir qu'ils sont constitués par un clinochlore très pauvre en fer, rappelant la *leuchtenbergite* ; sa biréfringence, légèrement supérieure à celle du quartz, permet aisément de distinguer ces roches des talcschistes.

Des types à très fines paillettes de *pennine*, associée seulement à un peu de magnétite, se trouvent dans le gîte aurifère d'Ambodimanga près de Mahanoro ; les plans de fissilité de la roche renferment parfois des lames de biotite.

1. *Beiträge zur Kenntniss der Gesteinsbildenden Biotit und ihrer Beziehungen zum Gestein*, Zürich, 1901, p. 26.

Des chloritoschistes, à plus grands éléments, renfermant aussi de la biotite et passant ainsi aux micaschistes, abondent sur la côte Nord-Nord-Est, vis-à-vis de l'île Sainte-Marie (la chlorite est du clinochlore), dans la vallée de la Volotarana, affluent de l'Ivoloina (avec longues aiguilles d'anthophyllite); près de Midongy et d'Ampandramaika, au Sud de Janjina (avec cristaux de grenat almandin pesant plusieurs kilogrammes).

Au Sud-Ouest de Vohémar, à Androta, un chloritoschiste associé à des amphibolites feldspathiques, est constitué par de petites paillettes vert sombre de clinochlore dont la composition chimique a été donnée t. I, p. 485. Au voisinage des veinules quartzifères et cuprifères, ce chloritoschiste est imprégné de malachite.

Dans la région de Maevatanana se trouvent, associés aux quartzites à magnétite, des chloritoschistes riches en actinote et en talc ; sur la Besafotra, des chloritoschistes à très fines paillettes renferment des nodules fibreux de trémolite et des amas de lames de clinochlore ayant jusqu'à 6 centimètres de diamètre ; ces roches sont associées à des lits verdâtres schisteux constitués par un granite écrasé, riche en pennine.

Enfin, dans le massif du mont Bity, au mont Tsilaizina, une roche formée de grandes écailles de clinochlore englobant des cristaux de tourmaline noire de 1 centimètre de longueur, forme des lits minces qui séparent une veine de quartz à cordiérite des micaschistes.

Les chloritoschistes dont l'analyse est donnée ci-contre : **159**) flanc Ouest du mont Ampanobe[1], **160**) Midongy, **161**) Volotarana (type à anthophyllite) sont d'anciens sédiments, à la fois argileux et magnésiens, métamorphisés ; ils sont classés dans l'ordre croissant de leur richesse en fer.

	159	**160**	**161**
SiO^2	32,26	28,94	31,38
Al^2O^3	20,35	22,55	16,55
Fe^2O^3	0,70	3,97	6,76
FeO	2,06	4,96	5,28
MgO	32,43	27,37	28,47
CaO	0,28	0,50	0,62
Na^2O	0,31	2,69	0,62
K^2O	0,38	0,51	0,33
TiO^2	0,41	0,18	0,51
P^2O^5	0,29	0,39	0,08
H^2O +	10,32	7,94	9,46
—	0,29	0,04	0,19
	100,08	100,04	100,25

1. Il est vraisemblable que la roche dont il est question page 539 et qui accompagne le quartzite chloriteux de Nandrojia, a une composition analogue à celle de ce chloritoschiste pauvre en fer.

CHAPITRE IV

ROCHES ESSENTIELLEMENT CALCAIRES

I. — CALCAIRES CRISTALLINS

A. — *Marbres.*

α. **Calcaires.** — Les calcaires cristallins[1] sont des calcaires sédimentaires, plus ou moins purs, ou bien plus ou moins dolomitiques, métamorphisés. Dans beaucoup d'entre eux, une matière charbonneuse originelle a laissé sa trace sous forme de graphite cristallisé et parfois aussi sous celle d'une matière indéterminée à laquelle est due l'odeur fétide que dégage le moindre choc (Pays Mahafaly, la Sakave, etc.). Au point de vue minéralogique, les calcaires cristallins sont comparables aux sédiments calcaires marmorisés au contact des roches éruptives ; ils en diffèrent par une cristallinité généralement supérieure et souvent par une plus grande complexité minéralogique.

Le minéral essentiel et parfois exclusif, est la *calcite* dont le grain est extrêmement variable. En général, il est de moins de 1 millimètre ; il atteint souvent jusqu'à 5 centimètres (Ambatoboka, Ankarongana ; Tsiombe ; rivière Sakatovo, etc.) ;

1. Les gneiss du Massif cristallin sont, en général, pauvres en chaux et cette pauvreté est encore accentuée par les transformations latéritiques, aussi la présence au milieu d'eux de bancs calcaires constitue-t-elle une discontinuité chimique remarquable qui a un retentissement intéressant sur la végétation. Celle-ci présente sur ces bancs calcaires une grande analogie avec la végétation xérophile des sédiments du Sud et de l'Ouest ; de plus, les incendies périodiques de brousse n'ont laissé subsister à sa surface que l'*Aloe capitata*. Var. *cipolinarum*, qui résiste aux feux de brousse lorsque le sol est rocailleux, condition qui empêche ou qui diminue l'intensité des incendies.

Par suite, dans tout le Massif cristallin, les affleurements de calcaires sont jalonnés par ces grands *Aloe* qui se voient de loin et qui permettent de suivre au milieu du *bozaka*, couvrant les gneiss, les contours des bancs calcaires ; la vallée de la Sahatany offre un remarquable exemple de cette influence du caractère chimique du sol sur la végétation.

il existe même dans la vallée du Manambolo des calcaires dont les cristaux élémentaires ont jusqu'à 15 centimètres de diamètre, enfin, le prétendu spath d'Islande (Cf. page 172) d'Ambatofinandrahana fournit des clivages qui dépassent 50 centimètres suivant une arête rhomboédrique.

Comme il convient à des roches qui ont été soumises à de puissantes actions mécaniques, les macles secondaires suivant b^1 sont très fréquentes et apparaissent sur les échantillons lavés par les pluies sous la forme de stries régulières, parallèles à la diagonale horizontale des clivages rhomboédriques.

Lorsque ces calcaires sont exclusivement formés par des carbonates et que leur grain est convenable, ils constituent de magnifiques *marbres blancs* qui pourraient être employés pour la statuaire ou l'ornementation (Kiranomena, Imaloto), s'ils se trouvaient dans un pays d'accès facile.

Le plus souvent, ces roches renferment, en proportion plus ou moins grande, d'autres minéraux, de la dolomite et surtout des silicates dont la composition est, d'ordinaire, en rapport avec les impuretés originelles du sédiment ; ces minéraux sont distribués uniformément ou bien localisés par taches, par lits distincts ; leur concentration peut être telle que la calcite se raréfie ou disparaît complètement, et ainsi prend naissance la nombreuse série de roches silicatées qui vont être décrites plus loin. Ces dérivations silicatées forment parfois une bordure aux bancs de calcaires cristallins ou bien se trouvent en nodules au milieu d'eux.

Les calcaires cristallins sont, le plus généralement, d'un blanc éclatant, mais parfois leur calcite est rose (la Sakave, la Menamaty, Belio, etc.), jaune (Sud Ambatondrazaka), bleuâtre ou d'un beau bleu (Antetezambato, Ambatoboka) ; gris de fumée (Imaina) ou même presque noire (Ampanompia).

Je diviserai plus loin ces calcaires cristallins en deux groupes, suivant la nature des minéraux qu'ils renferment.

β. **Dolomies.** — Beaucoup plus rares que les calcaires cristallins sont les marbres résultant de la transformation de dolomies. Je n'en connais qu'un seul exemple à Madagascar, il se trouve à Ambodiala à l'Est d'Ambatofinandrahana, où la dolomie joue le même rôle que les calcaires (série cristallophyllienne supérieure) ; elle est uniquement formée de dolomite d'un blanc bleuté, plus translucide que la calcite des cipolins. Elle s'en distingue en ce qu'elle ne fait pas effervescence à froid dans les acides ; les rhomboèdres qui la constituent présentent la macle polysynthétique suivant e^1 $(02\bar{2}1)$. Il existe des mouches de chalcosite qui, par altération, fournissent des enduits de chessylite et de malachite tachetant localement cette roche de bleu et de vert.

B. — *Calcaires à silicates.*

a. — Calcaires à minéraux calciques ou calcomagnésiens.

Le minéral le plus caractéristique de ces calcaires est un diopside, ferrifère ou dépourvu de fer, accompagné de sphène, de quartz, de feldspaths alcalins ou de plagioclases basiques, d'amphibole (trémolite ou actinote, suivant la teneur en fer du diopside), de biotite ou de phlogopite, d'apatite parfois localement abondante en gros grains bleus, etc.

Voici quelques localités prises comme exemples : Ankadibe au Sud d'Ambatondrazaka ; sources de l'Andraronga (sphène brun et lits riches en actinote d'un vert foncé, pyrite et pyrrhotite) ; la Sahanamalona (Sambirano) (le diopside forme de longs cristaux dans la calcite rosée) ; Bemavo (Horombe) (sphène, beaucoup d'orthose et d'oligoclase) ; cime d'Analatata, près de la Sakave ; sur la Menamaty (calcite rosée en cristaux de 1 centimètre, avec graphite) ; entre l'Andranomita et la Satrapotsy (graphite : dégage par le choc une odeur fétide) ; route de Mananjary à Fianarantsoa, kilomètres 58 et 72 ; 12 kilomètres Sud de Fianarantsoa (graphite et phlogopite avec veines quartzeuses renfermant diopside incolore) ; Imaina (grandes lames de calcite enfumées, avec diopside ouralitisé, quartz, *or natif* et pyrite) ; près Antafiamalana, dans les gorges du Menarandra (pyroxène jaune vert clair, lames épaisses de phlogopite jaune pâle et apatite bleue).

Dans tous les gisements précédents, le diopside est vert ; dans d'autres calcaires il est incolore et les roches entièrement silicatées qui en dérivent sont blanches ou grises : Soavinarivo (diopside souvent poecilitique comme dans les cornéennes, phlogopite verte ou brune parfois très abondante et déterminant un rubanement) ; Ambahatra, sur rive gauche du Sambirano (larges lames hexagonales de phlogopite) ; Andasibe, au Sud-Est d'Ivony (gros cristaux de diopside avec paillettes de graphite) ; vallée de la Kiranomena (avec trémolite) ; flanc Sud-Ouest du mont Tsinjomay : Nord-Nord-Est de Miandrivazo ; Volonandrongo ; vallée de l'Imaloto (diopside jaune clair et grains bleu d'apatite) ; entre la Sakalalina et Mahasoa (grands cristaux de trémolite d'un blanc jaunâtre) ; rive gauche de la Manakaralahy (avec nodules calcaires riches en anorthite laminaire englobant trémolite jaune citron, qui se concentre à leur périphérie avec du corindon violacé).

On vient de voir que la trémolite est fréquemment un satellite du diopside, mais elle existe parfois seule sous forme de grandes baguettes incolores ou blondes (Anosivola, au Sud de la Manambovona).

Aux environs de Janjina, un calcaire cristallin ne renferme, en fait de minéraux accessoires, que de l'apatite translucide d'un beau bleu de ciel; le même minéral se retrouve à Andohampena (1 kilomètre de Vahandroampo), près Itremo, mais il y existe en outre de la phlogopite d'un jaune clair.

Très fréquemment, au diopside vert, se joint de la *scapolite*, en grains d'un blanc laiteux, qui indiquent dans la roche une teneur notable en soude et en chlore ; c'est ce type qui, le plus souvent, passe à des pyroxénites feldspathiques et wernéritiques ; Ambohimirakitra (phlogopite verte, actinote, quartz, anorthite, sphène ; grandes variations dans les proportions relatives de ces divers minéraux) ; Ambohidempona à Tananarive ; Ambatoriha (route de Bealanana à Antsalonja); Tompobohitra (vallée de la Sahatany) (trémolite, épidote, grenat) ; Ambohimanoa (avec sphène et orthose) ; Sakavalona au Sud-Est de Ranohira (avec biotite, quartz, sphène) ; entre Ianakafy et Ivohiby, en amont de Benenitra ; l'Onilahy, près de son confluent avec l'Imaloto ; 10 kilomètres d'Ezira sur l'Itomampy ; Anosivola, au Sud de la Manambovona (scapolite incolore, devenant jaune au voisinage de mouches de chalcopyrite) : Ilaloho près Fenoarivo (quartz en grandes plages englobant parfois poecilitiquement les autres minéraux) ; nombreux gisements dans l'Androy [Tsilamaha (Andolobe), rive gauche du Mandrare (entre Manevy et Mahiafia) ; col de Elakelaka (type à grands éléments)] ; dans le pays Mahafaly (avec pargasite, sphène, beaucoup de graphite, parfois du corindon) : région d'Ampanihy [rivières Sakatovo, Sakamay (apatite vert bleu), Manakaralahy].

Enfin, aux minéraux précédents se joint parfois de la *wollastonite* en grands cristaux d'un blanc nacré à clivages éclatants : dans l'Androy, col d'Elakelaka, Analamazava, sur le Mandrare (avec scapolite) ; entre Ianakafy et Ivohiby ; puis, au Nord-Ouest de Mahanoro, Antetezambato (*idocrase* jaune d'or, en grains transparents avec cristaux de pyrite et, dans d'autres parties du gisement, wollastonite de 1 centimètre avec ou sans diopside, macles b^1 de la calcite profondément tordues par actions mécaniques ; ces calcaires sont traversés par des filons de dissogénite à wollastonite ; sur les cassures fraîches, ce calcaire est d'un beau bleu qui s'atténue quand la roche a perdu son eau de carrière).

Exceptionnellement, la fluorine jaune ou d'un violet foncé constitue un élément accessoire dans un calcaire cristallin, entre Ampanihy et Tsiombe. J'ai vu des cristaux verts du même minéral provenant d'un calcaire de la même région dont je ne connais pas la provenance exacte.

b. — Calcaires à minéraux magnésiens.

Ces calcaires se distinguent des précédents par la nature de leurs minéraux métamorphiques dont les plus caractéristiques sont essentiellement magnésiens : forstérite, humites, spinelles et phlogopite ; une amphibole n'est pas rare aussi (pargasite pauvre en fer), ainsi que le diopside. Le sédiment originel était donc riche en magnésie. M. J.-H. Teall, en décrivant des calcaires de ce genre du Sutherland et de Skye, a proposé[1] de désigner le phénomène de leur métamorphisme sous le nom de *dé-dolomitisation*, pensant que le sédiment originel était une dolomie dont la magnésie s'est isolée, soit sous forme d'oxyde (brucite), soit à l'état de silicate. La silice a eu une action sélective, entraînant la formation de minéraux magnésiens et laissant de la calcite pure.

L'abondance du spinelle dans les roches malgaches et dans beaucoup d'autres similaires, montre en outre que le sédiment magnésien était riche en alumine et en même temps pauvre en silice (formation d'aluminates, d'orthosilicates et de silicates basiques).

La présence du fluor dans la humite et dans la phlogopite montre l'intervention de phénomènes pneumatolytiques ; à Madagascar, la dé-dolomitisation n'est pas toujours complète ; il reste assez souvent dans les calcaires cristallins de la dolomie associée à la calcite.

A l'inverse de ce qui a lieu dans les calcaires à minéraux calciques, les accidents exclusivement silicatés sont exceptionnels dans les calcaires qui nous occupent.

Les deux régions surtout intéressantes au point de vue des roches à minéraux magnésiens sont le pays Mahafaly et l'Androy qui, par la beauté des échantillons qu'ils fournissent, peuvent rivaliser avec les gisements similaires de Finlande et de l'État de New-York.

Dans la région d'Ampanihy, les grains de humite, dont la couleur varie du jaune citron au jaune orange foncé, ont jusqu'à 2 centimètres de diamètre ; ils sont accompagnés d'octaèdres de spinelle, brunâtre ou rosé, de lames de phlogopite blonde, de diopside incolore, de graphite, de sphène et parfois d'un peu de quartz. Dans la calcite, les bandes de la macle suivant b^1, sont curieusement plissées. Le graphite et la phlogopite s'agglomèrent localement. Tous ces calcaires dégagent une violente odeur fétide par le choc. Les principaux gisements à citer sont : la rive gauche de la Manakaralahy, la route d'Ampanihy à Tranoroa, le ravin de Sakaginadra (spinelle rose), Fotadrevo.

1. J.-J.-H. Teall, *Geol. Magaz.*, 1903, p. 513 et *Mem. geol. Survey Scotland*, 1907, p. 453. — A. Harker, The tertiary Igneous Rocks of Skye, *Mem. geol. Survey Scotland*, 1904, p. 150.

Dans l'Androy, le minéral dominant paraît être la forstérite : rive droite de l'Antaisahona, en amont d'Imanombo; Sud d'Ambararata (peu de phlogopite, spinelle violacé); sources du Manambolo (larges et épais cristaux hexagonaux de phlogopite brun foncé, très gros grains de humite); entre Ranopiso et Behara (humite jaune rougeâtre et forstérite jaune paille, pas de mica, spinelle vert foncé renfermant des paillettes d'hématite orientées); Est de Tsiombe (larges cristaux de calcite avec graphite); Nord de Belindo.

Le calcaire d'Ambatomainty, au Sud de Betroka, très riche en dolomite, pauvre en humite altérée, est remarquable par ses magnifiques cristaux de spinelle vert foncé, formant parfois des agrégats avec phlogopite jaune or et diopside blanc. A citer encore : Itrongay; rive droite de la Sahambana à Beraketa (humite presque incolore et spinelle d'un gris bleuâtre clair); Ambohidrazana près Tsiafahy (avec pargasite presque incolore, poecilitique); kilomètre 12 de la route de Fiaranantsoa à Mananjary (avec graphite); en face Bemavo; Est de Beroso (graphite et phlogopite); entre Mahasoa et l'Onilahy; Tananarive (au pied d'Ambohidempona); mont Andilambe près Ambalatany; près du confluent de la Beangona et du Sambirano (beaucoup de forstérite enveloppée poecilitiquement par de la pargasite, peu de spinelle et de phlogopite).

A 10 kilomètres au Sud-Est du mont Andramanalaza (Nord-Est de Mandritsara), un calcaire à gros grain renferme de jolis octaèdres transparents de spinelle rouge.

Dans beaucoup des gisements qui viennent d'être énumérés, sauf dans ceux de l'Androy et du pays Mahafaly, les silicates magnésiens sont souvent serpentinisés; ils deviennent alors d'un jaune très clair ou d'un vert foncé et prennent un aspect cireux.

Enfin des calcaires d'Antanitoro, à 1 kilomètre Sud de l'Isaka, près de Midongy et des environs de Soavina, au Nord d'Ambatofinandrahana, renferment une très grande quantité de beaux octaèdres verts de spinelle, atteignant 1 centimètre de diamètre; dans le premier de ces gisements seulement, ils sont accompagnés par un peu de pargasite blonde.

II. — ROCHES SILICATÉES DÉRIVANT DES CALCAIRES ET DES MARNES.

Le Massif cristallin de Madagascar est, parmi les nombreuses régions cristallophylliennes que j'ai étudiées, celle qui renferme en plus grande abondance et avec le plus de variété des roches silicatées, dérivant des calcaires cristallins; en dehors

de leur intérêt minéralogique ces roches ont une certaine importance géologique en ce qu'elles permettent de reconnaître dans les schistes cristallins des niveaux dont l'origine sédimentaire n'est pas douteuse. Je les diviserai en deux groupes, suivant qu'elles renferment ou non des feldspaths.

A. — *Roches sans feldspaths.*

a. — **Wollastonitites.**

Ce type lithologique résulte de la transformation de calcaires siliceux pauvres en magnésie ou pas magnésiens du tout; il renferme, comme minéral exclusif ou essentiel, de la wollastonite, facile à reconnaître à ses clivages d'un blanc nacré très éclatant; les minéraux accessoires sont le diopside, le sphène, la scapolite qui devient parfois assez abondante pour que la roche passe aux wernéritites. Cette belle roche se trouve dans la basse vallée du Manambolo (*analyse* **174**) (Pl. 27, fig. 2), notamment entre Behara et Tsilamaha, et aussi à Andolobe; quand les dimensions des cristaux de wollastonite sont inférieures à 1 centimètre, ce minéral est seul distinct à l'œil nu comme élément blanc; il englobe de petits grains de sphène et de diopside, mais quand la wollastonite atteint 5 centimètres de plus grande dimension, on distingue, à l'œil nu, des cristaux de scapolite gris fumée et de sphène brun rouge ayant parfois les mêmes dimensions. Le sphène présente la macle polysynthétique suivant $d^{1/4}$ (221). Dans l'intervalle de ces divers minéraux, se trouvent de petits grains de quartz ou de calcite: cette dernière constitue quelquefois une association graphique avec le quartz. La wollastonite englobe aussi poecilitiquement les autres éléments.

Les calcaires cristallins du sommet du mont Ampanobe renferment, comme accident, une roche formée de grands cristaux (2 centimètres) de wollastonite, à clivages un peu soyeux; ils sont associés à un grossulaire, d'un jaune rosé pâle.

Les calcaires bleuâtres d'Antetezantany présentent l'association de la wollastonite et de l'idocrase translucide jaune d'or. Ces deux silicates se concentrent aussi pour former une belle roche ressemblant à un marbre à très grands éléments.

b. — **Para-pyroxénites.**

α. **Para-pyroxénites normales.** — Ces roches sont le résultat de la transformation de calcaires magnésiens siliceux, mais pauvres en alumine ou privés d'alumine ; elles sont essentiellement constituées par du diopside, accompagné parfois par un

petit nombre d'autres minéraux : scapolite, feldspaths, etc. dont la présence indique une pauvreté moindre en alumine des sédiments originels ; leur plus grande abondance établit des passages à tous les types de pyroxénites feldspathiques qui vont être passés en revue plus loin. Depuis peu, les pyroxénites malgaches ont pris un intérêt économique par la découverte qui y a été faite de veines pegmatiques de phlogopite d'origine pneumatolytique qui y sont fructueusement exploitées.

Dans une première variété, le diopside est absolument dépourvu de fer; il est blanc de lait et présente souvent des plans de séparation suivant *p* d'origine mécanique. Quand la roche qu'il constitue est à grain fin, elle ressemble, au premier abord, à un calcaire; ce type est tout à fait analogue à certaines roches de contact du granite, mais il possède une cristallinité plus grande.

Tel est le cas des pyroxénites de la Kiranomena ; d'Antanety au Sud de Betafo ; ces roches sont souvent à très gros éléments (plusieurs centimètres) (Beraketa sur la rivière Sahambana, Kiranomena).

A Soavinarivo, j'ai recueilli un grand nombre de variétés de pyroxénites blanches ou jaunes, rubanées, se débitant en dalles, grâce à l'existence de lamelles de biotite, disposées suivant des plans parallèles contenant des aiguilles de trémolite brune, de tourmaline noire. Quand ces pyroxénites sont finement grenues, elles renferment un peu de bytownite, en partie damouritisée, et parfois des porphyroblastes de diopside. Il existe dans ce même gisement des bancs uniquement formés par l'enchevêtrement de cristaux de diopside (plans de séparation suivant *p*) de plusieurs décimètres de longueur ; à signaler encore un peu de graphite. Ce dernier minéral est très abondant dans une pyroxénite du Sud d'Ambararata, entre Antanimora et Imanombo, qu'il colore en gris. Au Nord de Tsivory, une autre pyroxénite, à diopside gris, renferme de petits cristaux de scapolite et de diopside. Dans la région de Midongy du Sud une pyroxénite, à diopside blanc, renferme des cristaux poecilitiques de tourmaline noire de plusieurs centimètres. Une pyroxénite de la haute Ibohaika, affluent de l'Onilahy, et une autre recueillie entre Antanimora et Tsimilofo, sont formées de diopside blanc verdâtre, allongé suivant *c*.

Dans d'autres gisements, le pyroxène est un peu ferrifère, tantôt gris vert, tantôt vert clair : Itrongay ; entre l'Andranomita et la Sakena ; rive Nord de l'Antaisahona, en amont d'Imanombo (avec lits de biotite) ; entre le village et la rivière de Soamanonga (avec hornblende vert foncé) ; tantôt d'un vert plus ou moins foncé [(rivière Bilamby, entre Ihosy et Ranohira (avec un peu de hornblende, de biotite et de scapolite); Est de la Sakave (la roche est tachetée de points clairs dans lesquels le pyroxène englobe poecilitiquement un plagioclase basique

et de la calcite; il existe un peu de hornblende); mont Andringitra (avec beaucoup d'apatite, vert asperge, riche en inclusions aciculaires ferrugineuses; elle moule en partie le pyroxène; il existe un peu de quartz)]; Andengodroa près Irony (grandes lames de clivage); entre Ianakafy et Ivohiby; Behara, avec taches blanches de scapolite; 41 kilomètres Nord-Ouest d'Itrongay, avec magnétite massive.

Enfin le pyroxène est parfois très ferrifère et de couleur presque noire [entre Antsolo et Ampasimaika (Androy); ce pyroxène est d'un brun un peu violacé en lames minces; il est accompagné de sphène et d'anorthite]; Andranolava (un peu de hornblende et de scapolite); Ambatolahatsiraka [(un peu de hornblende) (entre la Satrapotsy et la Manakaralahy)].

Un type spécial de pyroxénite a été recueilli à l'Est d'Ankilahila (Ouest d'Itremo); il est constitué par un diopside vert jaune clair et de la hornblende d'un vert presque noir qui sont distribués par taches, sans être mélangés.

A 2 kilomètres d'Angodongodona, près de la rivière Isoanala, se trouve un banc de 10 mètres d'épaisseur d'une pyroxénite formée par d'énormes cristaux de pyroxène d'un vert noirâtre, remarquable par la netteté de ses plans de séparation suivant *p* (001).

Toutes ces pyroxénites sont à gros grain; le pyroxène montre, dans la cassure, ses clivages caractéristiques, mais, dans quelques cas, il possède la texture coccolitique; par le choc, la roche se délite en petits grains polyédriques; cette texture n'est pas liée à la teneur en fer; entre le Vohipotsy et Soamanonga, en effet, le diopside est d'un vert foncé, alors qu'aux environs d'Andriambe sur le Menarandra, il est d'un vert clair.

β. **Para-pyroxénites grenatifères.** — Le gisement de cuivre d'Ambatomihefy, sur la Kiranomena, se trouve dans une pyroxénite à hédenbergite et andradite d'un rouge foncé; la roche est granoblastique, à grain fin, avec un peu de calcite, mais par places, il existe des concentrations de grenat dont les grandes plages englobent poecilitiquement le pyroxène. Cette roche est imprégnée d'érubescite et de chalcopyrite.

γ. **Para-pyroxénites avec filons pegmatoïdes de phlogopite.** — Depuis peu, ont été découverts des gisements de pyroxénite qui présentent un intérêt minéralogique et géologique par suite de l'existence au milieu de leurs bancs, de filons ou de poches de phlogopite, suffisamment importants pour faire l'objet de fructueuses exploitations. En raison de ce double intérêt, j'insisterai sur ces gisements sur lesquels j'ai reçu des compléments d'information depuis le début de l'impression de ce volume (Cf. page 145).

Sur la crête assez érodée de la colline de Volonandrongo et sous une épaisseur de 6 à 7 mètres d'argiles latéritiques, se trouvent des couches, redressées verticalement, de pyroxénites, orientées Est-Ouest et intercalées entre des quartzites et des orthogneiss. Une coupe Nord-Sud partant des quartzites pour aboutir aux gneiss, montre d'abord un banc de granite à grain fin renfermant de petites enclaves lenticulaires, parallèles, de quartzite à sillimanite, puis une pyroxénite à scapolite, à gros grain, d'un gris verdâtre, contenant des paillettes de phlogopite, irrégulièrement distribuées ; vient ensuite une amphibolite albitique dont le rubanement est accentué par la présence de paillettes micacées ; enfin, un banc épais d'une pyroxénite à grain moyen, d'un gris vert clair, dépourvue de mica, mais localement riche en scapolite ; c'est cette roche qui est en contact avec le gneiss.

Cet ensemble est traversé par un dyke épais d'oligoclasite quartzique à gros grain, orienté à peu près Nord-Est et par une pegmatite à plus gros éléments renfermant du microcline rosé, un peu de diopside, de sphène et de tourmaline noire. Au Sud du filon d'aplite, la pyroxénite, rubanée ou non, est traversée par des veines presque verticales, disposées en chapelets et remplies par de grandes lames de phlogopite ayant parfois près d'un demi-mètre de diamètre. Dans leur renflement, ces veines ont plus de 2 mètres d'épaisseur ; sur leurs bords, la phlogopite est associée à de gros cristaux de diopside ; ses cristaux sont, en général, implantés normalement aux épontes des filons. Dans une zone d'une quinzaine de mètres de rayon, autour du croisement de l'oligoclasite et de la pegmatite, il existe des poches concordantes avec la stratification de la pyroxénite ; elles sont tapissées de beaux et gros cristaux de diopside, d'agrégats miarolitiques formés par de longues baguettes polysynthétiques d'épidote et de clinozoïsite, de gros prismes de scapolite ou de dipyre (parfois épigenisés en albite), de touffes d'asbeste. J'ai indiqué déjà que ces cavités, grandes ou petites, ne doivent pas être considérées comme des druses primaires, mais qu'elles résultent de la dissolution de calcite laminaire qui, à l'origine, les remplissait entièrement. La démonstration de ce fait est fournie par quelques restes de calcite que l'on rencontre çà et là ; elle est confirmée par l'étude des gisements similaires de l'Extrême Sud dont il va être question plus loin. Peut-être faut-il seulement faire exception pour certaines géodes de gros cristaux d'albite accompagnés ou non de petites aiguilles d'actinote, qui ont sans doute une origine secondaire. De petites lames de heulandite recouvrant les cristaux de diopside se sont certainement produites après la formation des cavités de dissolution.

On trouvera à la description de la tourmaline magnésienne, de l'apatite, de l'albite, du sphène, de la scapolite, de l'épidote, etc., des détails sur les minéraux provenant de ce gisement et sur lesquels je ne reviendrai pas ici.

On verra d'autre part dans le chapitre consacré aux altérations des roches l'indication d'une curieuse formation secondaire d'opale qui a rempli certaines des cavités de la roche et qui englobe des cristaux ou des fragments de tous ses minéraux constitutifs.

Dans l'Extrême Sud de l'île, sont connus des gisements comparables à ceux de Volonandrongo. Je prendrai pour exemple ceux de la région du Nord-Ouest et de l'Ouest de Fort-Dauphin, exploités par M. Louys et sur lesquels MM. Bornand et A. Tacchini m'ont abondamment pourvu en renseignements et en échantillons.

Du Nord au Sud, ces gisements sont les suivants : Au Nord du col d'Isandelo et au Nord-Ouest du mont Tsilamaha ; Iroboka et Marovoalavo ; sur le flanc occidental du mont Elakelaka ; Ambatoabo ; puis, au Nord de Ranofotsy, dans la région de Ranopiso : Sahakara (Nord-Est du pic Ambohibato) ; Mahatsinjo, Marofototra (Nord-Ouest du mont Lavasoa). Dans tous ces gisements, au milieu d'une pyroxénite à gros grain, d'un vert plus ou moins foncé, apparaissent des filons ou des poches irrégulières, discontinues, généralement inclinées de 30 à 45° sur la verticale, de phlogopite dont les lames (Pl. 11, fig. 1) arrivent à dépasser $1^{m},50$ de diamètre. Ce mica présente des couleurs variées, depuis le blanc jaunâtre, jusqu'au noir franc. Là encore, il est accompagné de diopside (en cristaux ou en masses laminaires), vert, gris verdâtre, gris de fumée (Iroboka), d'apatite bleue ou verte, en cristaux pesant jusqu'à 8 kilogrammes, de sphène brun ; plus rarement (Ambatoabo), l'on rencontre des masses de grandes dimensions, formées par l'agrégat de petits grains ou de petits octaèdres de spinelle noir, vert en lames minces, associé à quelques paillettes de phlogopite. Parfois, entre les lames de phlogopite s'observent des plaques transparentes ou translucides, à faces parallèles, constituées par un pavage de petits cristaux de quartz, généralement aplatis suivant une face rhomboédrique ; très rarement, on trouve, avec le même aspect, de l'apatite bleue (Ambatoabo) formée par un seul cristal aplati, transparent.

Dans quelques gisements (Mahatsinjo, Iroboka) il existe encore de la calcite dont les grands clivages présentent des macles[1] b^1, et englobent de magnifiques cristaux épais, à faces nettes, de phlogopite. Des échantillons provenant du premier de ces gisements m'ont permis de suivre le mécanisme de la transformation de cette calcite en ce tuf calcaire poreux qui sera décrit dans la dernière Partie de ce livre et cette dissolution partielle de la calcite permet de comprendre l'origine des cavités nombreuses, arrivant à constituer de véritables cavernes

1. Ces macles sont d'origine secondaire, de même que les plans de séparation suivant p fréquents dans le diopside.

(Pl. 12 et 13), qui, à Ambatoabo, constituent l'une des caractéristiques des énormes poches de mica. On voit ces cavernes tapissées de magnifiques cristaux de diopside de plusieurs centimètres de long, ainsi que de fort beaux cristaux, à faces nettes, de phlogopite; dans d'autres cas, ce sont ces larges lames de mica de plus d'un mètre de diamètre qui, incrustées dans la pyroxénite, miroitent sur les parois comme des glaces. Ces divers cristaux sont généralement recouverts d'une argile rougeâtre, ou d'une boue constituée par de petites paillettes de mica; dans d'autres cas, ils supportent des globules ou des stalactites de hyalite. Enfin, il faut noter l'abondance, près des affleurements, d'une roche à aspect de meulière formée par du quartz et plus rarement par des concrétions de calcédoine, englobant quelques débris de l'un quelconque des minéraux cités plus haut. Pour terminer ce qui concerne ce gisement, il me reste à signaler l'existence de filons de dissogénite (Marovoalavo, Ambatoabo).

Des gisements analogues sont prospectés entre Tsivory et Bekily, notamment à Beyary, à Ankelindrano, dans la région d'Ambovombe (les pyroxénites sont formés par du diopside très ferrifère, etc.). On en connaît beaucoup d'autres dans l'Androy.

Les gisements qui viennent d'être décrits présentent de grandes analogies avec ceux qui, au Canada[1] (Ontario, Québec), fournissent la phlogopite. Ceux-ci se trouvent également dans des pyroxénites: le mica, en grandes lames, forme des filons ou des poches parfois au contact des pyroxénites et des gneiss. Les bords de ces filons et de ces poches sont souvent garnis de gros cristaux de diopside; le mica est généralement englobé dans de la calcite, avec de l'apatite, qui est parfois assez abondante pour avoir fait l'objet de véritables exploitations; quand, en 1888, j'ai visité les carrières des environs de Templeton, seul ce phosphate était recherché, la phlogopite était jetée aux remblais. La scapolite, la hornblende, la trémolite, le sphène brun, la tourmaline sont des minéraux fréquents de ces gisements ; comme produit de dernière formation, il faut citer la heulandite, associée à d'autres zéolites[2] (chabasie, faujasite, mésolite) ; on y trouve un certain nombre de minéraux qui n'ont pas été observés jusqu'ici à Madagascar dans de semblables conditions : olivine, zircon, allanite, fluorine, barytine, molybdénite, pyrite, pyrrhotite.

1. Les gisements canadiens ont fait verser des flots d'encre ; un bon résumé de la question est donné par M. Hugh S. de Schmid : Mica, its occurrence, exploitation and uses. *Canada Dep. Mines*, Ottawa, 1912, p. 256.

2. Il est intéressant de retrouver ici des zéolites comme dans la dernière phase pneumatolytique des pegmatites granitiques.

L'épidote qui joue un rôle si important à Volonandrongo, est exceptionnelle au Canada, dont les gisements renferment aussi des feldspaths potassiques à l'état filonien.

Il n'est pas douteux qu'il ne faille, dans ces deux régions, si éloignées l'une de l'autre, attribuer aux mêmes actions pneumatolytiques en liaison avec des magmas éruptifs (à Madagascar le magma granitique), le remplissage des filons de mica, où les minéraux fluorés (phlogopite, apatite) jouent un rôle prépondérant. En ce qui concerne Madagascar, ce minéral potassique existe seul dans l'Extrême Sud, comme produit renfermant des alcalis, tandis qu'à Volonandrongo, la présence de l'albite et de la scapolite montre que les émanations magmatiques ont été non seulement potassiques, mais encore riches en soude.

γ. **Para-pyroxénite à spinelle.** — Cette roche, qui ne semble pas avoir été décrite jusqu'ici, est essentiellement caractérisée par l'association d'un pyroxène incolore et d'un spinelle.

Une première variété se trouve à l'Est du col d'Isandelo (Androy). Elle est à grain moyen, le pyroxène gris de fumée translucide a un éclat gras, l'analyse donnée dans l'*Appendice*, à la fin de ce volume, montre que ce pyroxène est alumineux et constitué non par du diopside, mais par une *leucaugite*. Le spinelle est d'un vert bleuâtre ; ses contours sont irréguliers, car, sur ses bords, il enveloppe poecilitiquement le pyroxène ; çà et là, il existe quelques plages de calcite qui, en disparaissant aux affleurements, laissent des vides tapissés par des cristaux des deux autres minéraux : cette roche est fragile.

Par contre, la seconde variété qui se trouve entre Ampasimainty et Ambatomainty sur la rive gauche de l'Ivahona (Sud de Betroka), est compacte et très tenace ; le pyroxène est blanc laiteux ou d'un vert pâle ; le spinelle est vert foncé et généralement dépourvu de formes géométriques ; il existe un peu de sphène, et quelques paillettes de phlogopite incolore ; c'est au voisinage de cette pyroxénite et dans un calcaire cristallin que se trouvent les magnifiques cristaux de spinelle qui doivent rendre ce gisement célèbre.

Une roche analogue, mais d'une couleur vert foncé, est associée à une pyroxénite feldspathique à Isakoa, entre Betroka et Itrongay. Dans le même gisement, se rencontrent de jolis octaèdres de spinelle vert et de grandes lames de phlogopite jaune d'or, mais je ne sais si ces minéraux proviennent de la pyroxénite ou bien de calcaires cristallins.

L'*analyse* **162** de la pyroxénite du col d'Isandelo a été faite par M. Raoult. Il est intéressant de constater que dans cette roche silicatée alumineuse et calcifère, l'alumine, au lieu de contribuer à la formation d'anorthite, comme cela eût été

le cas dans un magma fondu, entre toute entière dans la constitution du spinelle et d'un pyroxène spécial.

	162
SiO^2	39,38
Al^2O^3	11,63
Fe^2O^3	2,21
FeO	0,91
MgO	17,17
CaO	24,72
Na^2O	0,98
K^2O	0,26
TiO^2	0,99
P^2O^5	0,76
H^2O +	0,23
—	0,19
CO^2	0,65
	100,08

c. — **Para-amphibolites** (*str. sens.*).

Il existe aussi des amphibolites, uniquement ou presque exclusivement formées par de l'amphibole, qui dérivent de la transformation de calcaires magnésiens, purs ou marneux, suivant que l'amphibole appartient au groupe trémolite-actinote ou à celui de la hornblende. Voici une série de gisements d'amphibolites à grands éléments que leur association avec des calcaires me fait rapporter à ce groupe, bien que je ne puisse pas démontrer leur origine d'une façon définitive, n'ayant pas d'analyses : près Antsakoana (rive gauche de la Matsiatra) ; Andranomarary (Est de Malaimbandy) (agrégats miarolitiques de hornblende vert foncé en cristaux de 1 centimètre raccourcis suivant l'axe *c*) ; entre Morafeno et Daraina sur le Manambolo ; bords du Mananjeby entre Ambakirano et l'Andrahara ; sources de l'Andraronga, dans la région du Tsaratanana ; Ankarongana (agrégats de très gros cristaux de hornblende d'un vert foncé).

A l'Est de Colcanap [1], sur la rive gauche de l'Ianapera, se voit, intercalée entre un gneiss grenatifère et un calcaire cristallin, une roche tachetée de rose et de vert clair : elle est essentiellement constituée par un peu de quartz et une trémolite d'un vert pâle, translucide, à clivages éclatants, en voie de transformation en calcite ; localement la pseudomorphose est presque complète.

Dans le bassin de la même rivière, à Bekena, M. Perrier de la Bathie a recueilli une amphibolite formée de smaragdite translucide, d'un beau vert d'herbe, mélangée à de la zoïsite blanche finement grenue.

1. Cette localité a été ainsi nommée en l'honneur de mon regretté correspondant, le capitaine, puis administrateur, Colcanap, mort au service de la Colonie.

d. — Épidotites.

Les épidotites sont essentiellement ou exclusivement constituées par de l'épidote d'un jaune plus ou moins foncé suivant la teneur en fer; quelques-unes d'entre elles sont certainement dues à des modifications de masses ferrifères, d'autres peuvent résulter de la transformation de roches feldspathiques d'origine variée. Elles ne se distingnent pas les unes des autres au point de vue minéralogique suivant ces deux origines; l'étude de leurs relations sur le terrain est nécessaire pour résoudre cette question d'une façon précise. Voici des exemples qui me paraissent pouvoir être interprétés par une origine sédimentaire.

Il existe deux variétés, l'une constitue une roche extrêmement tenace, à grain fin, renfermant souvent du quartz et parfois un peu d'amphibole : Androta au Sud-Ouest de Vohémar; route de Miandrivazo à Betafo, Mandro (Sud-Ouest de Betafo); sur la Manambato, entre Ambodimadiro et Morafeno, entre Morafeno et Daraina; Behara (Androy). Une autre variété au contraire se met en miettes sous le choc du marteau; elle est formée par de l'épidote presque pure: Andasibe, près Andavakoera.

Sur les flancs du mont Ampanobe, il faut signaler une épidotite dans laquelle de grands cristaux d'épidote et de diopside englobent poecilitiquement des grains de plagioclases basiques, de quartz et de sphène. Cette roche à épidote paraît constituer un accident basique d'un gneiss à épidote très leucocrate.

e. — Grenatites.

Les grenatites résultant de la transformation de marnes sont tellement liées à Madagascar aux pyroxénites feldspathiques grenatifères que je les étudierai plus loin avec celles-ci.

B. — *Roches feldspathiques.*

a. — Para-gneiss à pyroxène et para-pyroxénites feldspathiques.

La caractéristique de ces roches réside dans l'association du diopside, généralement vert clair et incolore en lames minces, à un plagioclase, d'ordinaire basique (bytownite-anorthite), mais pouvant être exceptionnellement acide. Le sphène brun, une amphibole sont fréquents; le quartz n'est pas rare; l'apparition d'une wernérite, d'un grenat, beaucoup plus rarement de spinelle, conduisent à des

variétés spéciales qui vont être décrites plus loin. Enfin, il existe fréquemment de la calcite, surtout dans les roches accompagnant les calcaires cristallins. Aux affleurements, ce minéral disparaît par dissolution ; la roche présente alors un aspect un peu sableux et, si elle est à grands éléments, il apparaît des pseudo-géodes tapissées par des cristaux des minéraux constitutifs ; ceux-ci présentent quelques formes nettes, mais avec le plus souvent des faces plus ou moins arrondies, si caractéristiques des minéraux métamorphiques formés dans les calcaires.

Sauf exceptions qui seront notées plus loin, les roches qui nous occupent ici, lorsqu'elles sont à grain fin, ont une couleur uniforme, grise, verdâtre, ou plus ou moins noirâtre ; lorsqu'elles sont à gros grain au contraire, leurs éléments constitutifs se distinguent nettement les uns des autres et la roche possède un aspect dioritique, surtout lorsqu'elle n'est pas rubanée, ce qui est le cas le plus fréquent. Ces roches oscillent entre un type leucocrate souvent essentiellement feldspathique et que j'appelle *gneiss à pyroxène* ou *gneiss à anorthite* s'il est très leucocrate, et un autre, mésocrate ou mélanocrate, auquel je réserve le nom de *pyroxénite feldspathique* : il ne me paraît pas possible de les séparer ; ce sont en grande partie ces roches auxquelles, en 1889, j'ai consacré ma thèse[1] et que j'ai appelées alors *gneiss granulitiques à pyroxène* — je dirais aujourd'hui *granoblastiques*. J'avais, en décrivant des gisements nouveaux, fait la revue de tous ceux qui étaient connus alors. Madagascar m'a fourni depuis lors plus de documents nouveaux sur cette question que l'ensemble des régions où on les connaît actuellement. J'ai donné, page 511, leur caractéristique différentielle avec les ortho-gneiss à pyroxènes qui sont, généralement, de couleur plus foncée, mais peuvent présenter la même structure.

α. **Gneiss à anorthite**. — Je connais une roche essentiellement constituée par de l'anorthite ; elle est blanche et possède un aspect saccharoïde ; elle renferme accessoirement un peu de grenat brun rouge, de pyroxène et d'un minéral analogue à celui que j'ai désigné jadis sous le nom de *fouquéite*. Cette roche, à structure régulièrement granoblastique (Pl. 27, fig. 1), qui provient du mont Manavia, est très semblable à celle de Salem dans l'Inde que j'ai décrite sous le nom de *gneiss à anorthite*[2].

Un autre gneiss à anorthite se trouve à Mahatsara, près Alarobia et à Vinaninarivo (Vakinisisaony) ; au milieu d'anorthite blanche, granoblastique, se voient des traînées de grossulaire rosé et de diopside vert clair ; cette roche est traversée par des veinules de quartz. Une roche analogue a été recueillie à Manjakavaradrano, au Nord-Ouest du Mont Andringitra (Nord de Tananarive).

1. *Bull. Soc. franç. minér.*, t. XII, 1889, p. 83-360.
2. *Op. cit.*, p. 323.

β. **Para-pyroxénites feldspathiques.** — Le type le plus fréquent des pyroxénites feldspathiques est à grain fin, à texture franchement granoblastique, avec égalité de dimension des divers minéraux. Ces roches ressemblent beaucoup à celles qui accompagnent les pyroxénites à dipyre de la Loire-Inférieure [1]. Voici quelques exemples caractéristiques :

Itrongay (la roche est vert clair, parfois le feldspath (bytownite) est plus ou moins damouritisé ; quand il l'est complètement, la pseudomorphose a l'aspect compact d'une *pseudophite*, un peu translucide, d'un vert bleuâtre (Manakampy au Sud de Bekily, un peu de calcite et d'apatite) ; rivière Sakamay, près Ampanihy (beaucoup de sphène, avec macles secondaires) ; dans l'Androy : vallée du Manambolo, entre Behara et Tranomaro, Nord d'Esira ; entre Manevy et Ambero (antiperthites de plagioclase basique et d'orthose) ; Tibaka, au Nord d'Amborompotsy (Sud de la Mania) ; Lohany, près de Befiana (Nord-Est d'Analalava, feldspath damouritisé) ; Ambatomihefy, sur la Kiranomena (beaucoup de sphène ; cette roche est associée aux pyroxénites grenatifères décrites plus loin).

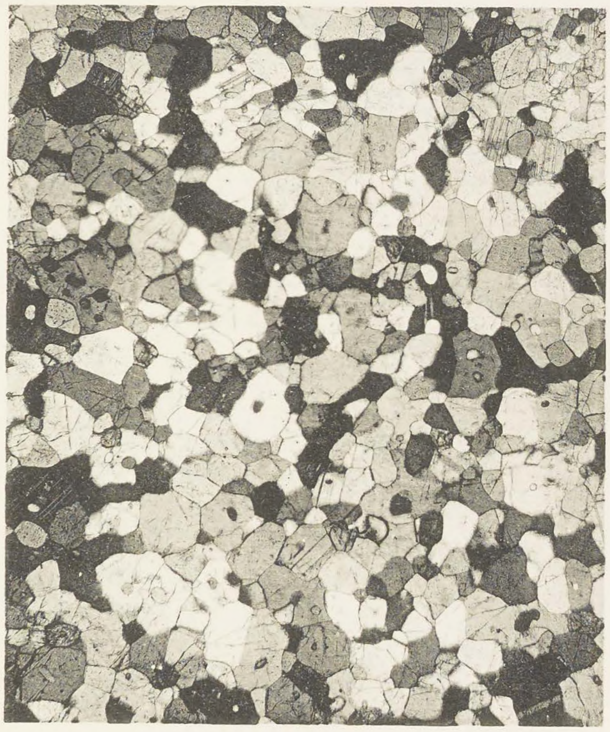
Des variétés plus ou moins quartzeuses se trouvent à la base occidentale du mont Belambana (*analyse* **171**), près des sources de la Manampatrana, puis entre Ivibe et Analabe, dans le bassin de la même rivière ; aux environs d'Analaidirana (andésine). A signaler encore Anosivola (type à grain fin, à anorthite) et plus à l'Est, la base du mont Ifinetrika (roche à grands éléments, avec diopside dentelliforme).

Un autre type de structure rappelle celui que j'ai décrit [2] dans les gneiss à pyroxène de Saint-Clément (Puy-de-Dôme) ; la structure est poeciloblastique, le diopside, le sphène et l'apatite, en cristaux nets, sont engagés dans de grandes plages d'anorthite : rive droite de la Jabaha, affluent de la Sofia (feldspaths damouritisés, un peu de biotite) ; Est du mont Ampanobe.

Ces diverses variétés sont assez feldspathiques ; quand le pyroxène devient prédominant, le feldspath remplit ses intervalles ou bien est englobé par lui (Est de la Sakave).

Dans toutes les roches qui précèdent, le diopside est plus ou moins ferrifère, exceptionnellement, il existe des roches à pyroxène, très pauvres en fer ; tel est le cas d'un gneiss rubané, très finement grenu, de la rivière Sakatovo ; il est coloré en rose par un pyroxène spécial ; dans une roche analogue du mont Tsivory, le diopside est d'un rose violacé plus foncé.

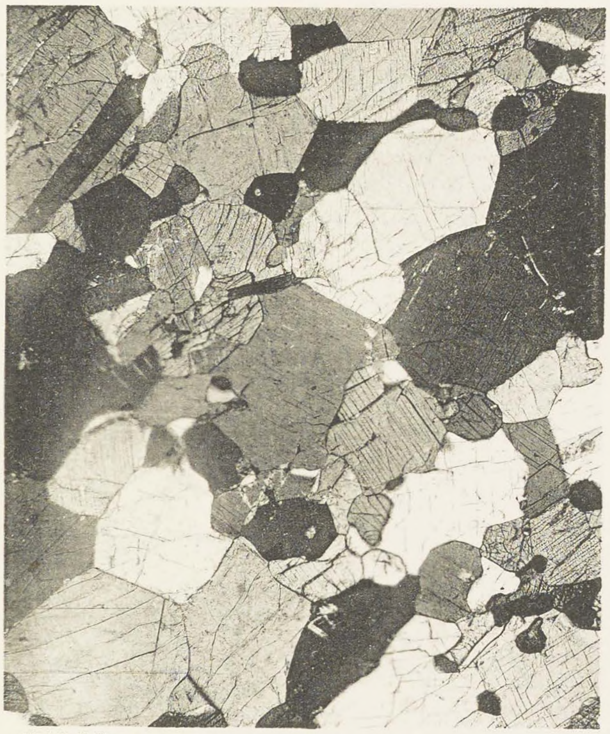
1. *Op. cit.*, p. 91.
2. *Op. cit.*, p. 146.



1



2



Clichés Fallou 3



4 Imp. Catala frères, Paris.

Paragneiss à anorthite ; Mont Manavia (fig. 1). — *Wollastonitite à scapolite* ; Le Manambolo (fig. 2). — *Scapolitite à diopside* ; Andranovato (fig. 3). — *Gneiss à diopside et scapolite* ; La Manakaralahy (fig. 4).



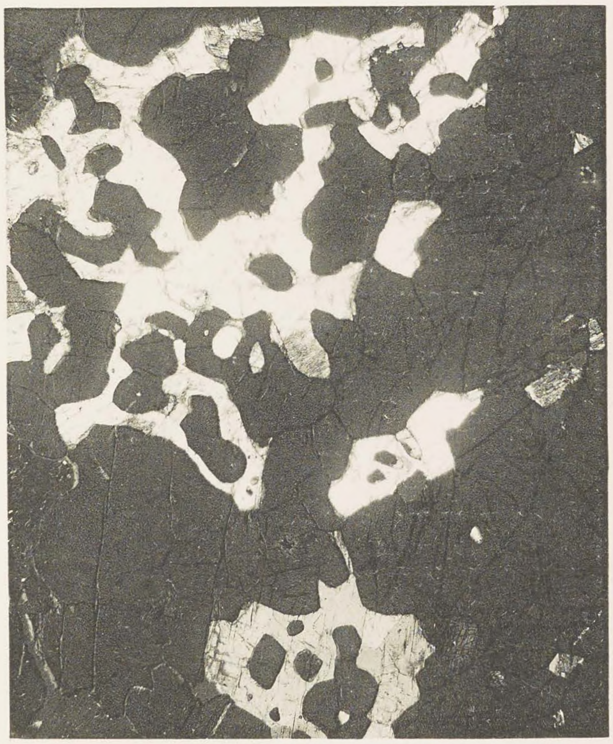
1



2



Clichés Fallou. 3



4 Imp. Catala frères, Paris.

Grenatites feldspathiques ; Antambohobe (fig. 1 et 2) ; Ejeda à Ampanihy (fig. 3). — *Grenatite à scapolite ;* Mikaikarivo (fig. 4).

A. CHALLAMEL, ÉDITEUR

Un type exceptionnel, intercalé entre les leptynites et les calcaires à l'Est de Sahaninoka, est blanc, tacheté de biotite brune ; de grands cristaux de diopside blanc, très maclés et tordus, associés à des plagioclases sont fragmentés et réunis par un agrégat granoblastique des mêmes minéraux qu'accompagnent des paillettes de biotite. C'est un des rares exemples que je connaisse à Madagascar de pyroxénites déformées par action mécanique [1].

Des pyroxénites feldspathiques de même composition, mais dépourvues de mica, existent sur la rive droite de l'Ihosy, entre Sihanamena et Iamanda.

γ. **Para-pyroxénites feldspathiques grenatifères.** — Il existe des pyroxénites feldspathiques à plagioclases basiques, dans lesquelles, aux minéraux précédemment énumérés, s'ajoute un grenat (grossulaire ferrugineux ou andradite) ; le sphène est constant. De grandes différences s'observent dans le mode de distribution du grenat.

A Antsahabe, affluent du Sandrakoto, il forme des taches rouges, englobant poecilitiquement les autres minéraux. Dans d'autres cas, il est uniformément distribué : entre Anosibe et Andakana, sur la route de Tananarive à Mahanoro (bytownite avec antiperthite vermiculée d'orthose ; la roche contient de l'épidote) ; haut Andilambe (le grenat, associé à de la magnétite et à du quartz, forme des grains irréguliers d'un brun rouge, au milieu d'anorthite très apparente). Dans des gneiss pyroxéniques de la vallée de l'Isaka et de la Zanaka, le pyroxène est une hédenbergite d'un vert foncé ; le grenat enveloppe poecilitiquement les autres minéraux et contient en outre de petites inclusions d'épidote.

Une pyroxénite très hétérogène d'Antsakondry (à 1 kilomètre Est d'Analamontana, dans la région de Midongy) renferme des plages verdâtres d'anorthite (densité : 2,745) verdâtre sur un fond rougeâtre très grenatifère, le pyroxène est d'un vert foncé ; le plagioclase est, par places, un peu zoné et renferme du quartz vermiculé ; il existe un peu de magnétite et d'épidote avec des mouches d'érubescite en voie de transformation en malachite.

Enfin, dans une roche de la rivière Sakatovo, très riche en pyrrhotite et localement en scapolite, le grenat forme de gros phénoblastes de 1 centimètre de diamètre.

1. Il faut signaler deux autres cas analogues, d'abord le gneiss de la Sakavalona qui est traversé par des traînées à structure cataclastique. J'ai en outre examiné des échantillons, que je dois à Rouquette ; ils ont l'aspect d'une cornéenne à grain fin, rubanée de vert et de blanc ; çà et là, il existe une texture glanduleuse par suite de l'existence de restes non broyés. La structure cataclastique de l'ensemble est à grain excessivement fin. Cette roche, qui forme une longue arête à 3 heures de marche au Nord-Ouest d'Imanombo, est un gneiss à pyroxène laminé, mais dont je ne connais pas exactement l'origine (para ou ortho ?).

Dans toutes les roches qui viennent d'être décrites, le grenat (rouge) et le pyroxène sont très ferrifères ; l'inverse a lieu dans un gneiss à pyroxène de la Sakamasay, où ces mêmes minéraux sont accompagnés de quartz et de magnétite squelettiforme de couleur très pâle.

Le très grand développement du grenat établit le passage à des *grenatites* très pyroxéniques : près d'Antsira (Androy) (hédenbergite et un peu de scapolite) ; Mikaikarivo, en amont de Bekitro, sur la Manambahy (avec wollastonite et scapolite associées graphiquement avec le grenat).

δ. **Grenatites feldspathiques et grenatites.** — La disparition du diopside dans les types grenatifères qui viennent d'être décrits, conduit à des roches à grain fin, à cassure possédant un éclat gras, essentiellement constituées par de l'anorthite et par un grenat (grossulaire, ferrifère ou andradite), généralement d'un brun rouge, qui donne sa couleur à la roche. D'ordinaire, l'anorthite est granoblastique, à grain uniforme ; le grenat constitue de petits grains contournés, qu'englobe poecilitiquement le feldspath ; cette association simule une sorte de structure graphique. Ce type de gneiss qui forme des lits minces ou des nodules dans les gneiss, est assez fréquent. En voici quelques gisements caractéristiques : Falaise d'Ampamarinana, à Tananarive ; mont Andringitra près de la Capitale ; Antranovato (Nord-Est de Bejofo) ; Amparindravato, à l'Ouest de Soavinandriana ; Antambohobe (flanc occidental de l'Andringitra) (roche grise) (Pl. 28, fig. 1) ; Mahasoabe, au Sud-Est de Fianarantsoa ; Ambatonalihala, entre la Linta et l'Onihaly (*analyse* **164**) ; route d'Ejeda à Ampanihy (*analyse* **165**) (Pl. 28, fig. 3).

Ce type lithologique renferme parfois un peu d'épidote (Pl. 28, fig. 2), de sphène, exceptionnellement (Antranovato) du spinelle vert, associé à de la magnétite.

Quelques variétés structurales sont à signaler. A Masinandriana (4 kilomètres Nord-Est de Tananarive), le grenat brun rouge est englobé dans des cristaux à clivages ondulés d'anorthite de plusieurs centimètres, formés par le groupement à axes parallèles, d'un grand nombre d'individus.

Près d'Elakelaka, se trouve une grenatite possédant une structure inverse de la précédente[1]. Le grenat prédomine de beaucoup, et c'est lui qui englobe poecilitiquement les autres minéraux (anorthite et un peu de diopside). Une roche analogue (avec épidote et magnétite) se trouve à Iankily et entre cette localité et Besakoa (sphène), ainsi que dans la chaîne qui sépare l'Ionaivo de la Sahambana (le diopside très peu abondant est d'un vert foncé grisâtre).

1. Ce fait est assez général dans ces types lithologiques : quand un minéral prédomine sur les autres, il a tendance à se présenter sous forme de grandes plages qui englobent poecilitiquement tous ses associés.

Il me reste à signaler des cas, peu nombreux, dans lesquels le grenat est un grossulaire, pauvre en fer et par suite de couleur claire.

A Beharaka, une grenatite de ce genre est blanche, ponctuée de taches brunes, à éclat gras ; elle est creusée de petites cavités résultant de la dissolution de calcite. Le minéral brun est du grossulaire monoréfringent, le minéral blanc du grossulaire biréfringent (type pyrénéite) épigénisant une substance disparue (plagioclase ?), il existe aussi un peu de diopside incolore et de quartz.

Au sommet du mont Ampanobe, se trouve, associée à des calcaires cristallins, une grenatite d'un rose chair, un peu jaunâtre, constituée par un mélange granoblastique de grossulaire (essonite) et d'anorthite. Cette roche est accompagnée d'une grenatite uniquement constituée par ce même grenat et aussi de types roses tachetés de vert, dans lesquels l'anorthite n'est plus granoblastique, mais forme de grandes plages poecilitiques englobant du grenat, du diopside, du sphène et du quartz. Cette roche, associée aussi à des quartzites à grenat, est traversée par des veinules de pegmatite à zircon.

Enfin, il me reste à signaler une grenatite feldspathique, à grain fin, d'un beau vert émeraude, traversée par des filons de quartz grisâtre ; elle est constituée par une trame dentelliforme de *grossulaire chromifère* dont les jours sont remplis par de l'anorthite, renfermant des grains de diopside et de sphène. Cette roche a été recueillie à 2 kilomètres au Nord-Ouest de Bemotso (10 kilomètres Sud du mont Beanana), au Sud-Sud-Ouest de Mandritsara. Ce grossulaire chromifère, incolore en lames minces, rappelle celui d'Orford au Canada (Québec) et celui du pic des Posets en Aragon. Le premier est un accident de calcaires intercalés dans les gneiss et le second d'un calcaire paléozoïque métamorphisé au contact du granite [1]. Il ne serait pas impossible que la roche de Bemotso ait une semblable origine, je la décris à cette place, en l'absence de renseignements précis sur son mode de gisement.

Incertaine aussi est l'interprétation à donner à une autre roche chromifère, provenant de Berivotra, à 3 kilomètres au Sud de Kamaka, dans la région de Midongy. Elle est rubanée, blanche, avec lits riches en grains vert émeraude de véritable *ouwarowite* (Cf. l'*Appendice*, à la fin du tome III). L'examen microscopique montre des grains de bytownite, de diopside incolore et de sphène, puis de gros cristaux et des îlots de petits grains d'ouwarowite qui conservent leur belle couleur verte en lames minces. Ce grenat chromifère m'a rappelé l'ouwarowite que j'ai observée dans ces gabbros à olivine de couleur vert émeraude clair associés, dans l'île Ouen en Nouvelle-Calédonie, à des anorthitites (dykes dans péridotite),

1. *Minéralogie de la France*, t. I, 1893, p. 230.

et que j'ai décrits[1] sous le nom de *ouénite*. Ces roches présentent la même teneur en silice, mais elles sont moins riches en chaux, beaucoup plus magnésiennes et il semble difficile d'admettre pour la roche dont l'*analyse* **170** est donnée plus loin une origine autre que celle d'un sédiment marneux, malgré la difficulté d'expliquer sa haute teneur en Cr^2O^3. Il est vrai qu'il s'agit peut-être d'un sédiment ayant subi antérieurement à sa gneissification des transformations métamorphiques ; je n'ai malheureusement aucun renseignement sur le mode de gisement de cette roche.

ε. **Para-pyroxénites feldspathiques à spinelle.** — Je ne connais ce type lithologique que dans trois gisements malgaches.

A Marohavana (rive gauche de la moyenne Varana), se trouve un gneiss à pyroxène, grenu, noir, formé par de l'augite très dispersive, de la hornblende d'un brun vert et localement de la biotite, avec de la magnétite, associée à un spinelle vert. Le tout est englobé par de l'anorthite granoblastique. J'ai pris tout d'abord cette roche pour un orthogneiss à cause de son pyroxène, mais sa composition chimique (*analyse* **172**) ne permet pas de conserver cette hypothèse.

Une pyroxénite feldspathique, dans laquelle l'anorthite forme des plages poecilitiques de 2 à 3 centimètres et dans laquelle il existe localement beaucoup de pléonaste forme, à Isakoa, entre Betroka et Itrongay, un lit entre une pyroxénite feldspathique à grain fin, riche en sphène et une pyroxénite non feldspathique à spinelle.

Enfin la troisième roche provient d'Ankilitelo (Androy) ; elle est encore plus spéciale que les précédentes et me semble sans analogue parmi les roches connues. Des phénoblastes de spinelle, d'un noir vert, de 1 centimètre de diamètre, sont enveloppés dans une masse brunâtre ; ils sont bordés de blanc et l'on voit dans la bordure briller de grands clivages feldspathiques correspondant à un même individu qui englobe entièrement chaque cristal de spinelle. Au microscope, la masse brunâtre se montre formée par du diopside, creusé de cavités que remplit l'anorthite. Le spinelle est vert et parfaitement homogène : grâce à cette enveloppe feldspathique, ses cristaux peuvent être aisément détachés de leur gangue, mais leur forme est indistincte.

ζ. **Para-pyroxénites feldspathiques et wernéritiques.** — Ces pyroxénites se distinguent du type purement feldspathique décrit plus haut, en ce qu'au plagioclase se joint une wernérite, sans qu'aucun caractère extérieur avertisse de ce changement de composition : le meilleur exemple à citer se trouve dans les carrières de

1. *C. Rendus*, t. CLII, 1911, p. 819 : SiO^2 46,81 ; Al^2O^3 19,25 ; Cr^2O^3 0,21 ; FeO 1,85 ; MgO 14,23 ; CuO 16,60 ; Na^2O 0,57 ; K^2O 0,13 ; H^2O 1,00 = 100,65.

cipolin d'Ambohimirakitra (*analyse* **168**). La hornblende, le quartz, l'épidote, la zoïsite et la calcite sont les minéraux accessoires les plus fréquents. La structure oscille entre la granoblastique et la poecilitique ; des associations graphiques de calcite et d'anorthite sont fréquentes. Ces gneiss sont très hétérogènes et présentent fréquemment des concentrations de l'un ou l'autre de leurs éléments. J'ai recueilli en particulier des clivages de scapolite mesurant plus de 20 centimètres suivant l'axe vertical.

Ce type de gneiss se rencontre : au Sud d'Ambatondrazaka (notamment à 15 ou 20 kilomètres Est d'Ankaitombo : rive gauche du Manakaralahy près Ampanihy (*analyse* **166**) ; entre le Satrapotsy et l'Andranomita (affluent de l'Ihosy) [plagioclases poecilitiques présentant parfois des associations graphiques avec scapolite ; la roche passe à la pyroxénite] ; entre Bekitro et Betakapaka (un peu d'amphibole) ; au mont Tsaramody (*analyse* **169**).

Une roche analogue, recueillie entre Inanombo et Ankilitelo (avec quartz) et en amont de Belindo, est caractérisée par le remplacement de la scapolite par du dipyre ; ce minéral est reconnaissable à l'œil nu, grâce à son éclat gras.

Enfin, de même que dans les gneiss à pyroxènes normaux, il existe des types de gneiss à scapolite caractérisés par un pyroxène rose violacé (versant Est du col d'Isandelo) (*analyse* **167**) ; la scapolite est très abondante et parfois associée à de la calcite.

Des variétés à gros grain et à pyroxène très vert paraissent abondantes dans le bassin de la Mania et particulièrement au Sud de cette rivière ; Amborompotsy ; entre Tsarafandry et Soheva, sur la Kisira, Est d'Ankilahila (dans le lit de la Lambamena).

Il me reste à signaler la présence de la scapolite dans des gneiss à pyroxène, riches en orthose et microcline :

Environs de Bejofo (l'orthose enveloppe poecilitiquement la calcite et les autres silicates) ; environs de Ranomainty (Androy) ; rivière Sakavalona (avec biotite et zircon) ; Antsahanomby (36 kilomètres Nord-Ouest Mahanoro) ; Sud Ambatondrazaka ; Nord d'Esira (dans cette roche à gros grain, une partie de la scapolite forme, avec quartz, des agrégats vermiculés rappelant la myrmékite et constituant des coins dans de l'orthose ou de la calcite). J'ai signalé depuis longtemps [26] au col d'Elakelaka un type à gros grain, formé par de la scapolite et du diopside moulés par de la wollastonite à éclat nacré, elle-même enveloppée par de l'orthose.

Dans le gisement de phlogopite de Volonandrongo, se trouve aussi une pyroxénite micacée à microcline, dans laquelle la scapolite se concentre au milieu des lits à éclat nacré ; elle moule les autres éléments. Un type exceptionnel a été recueilli

entre Tsilema et Ranotsara, sur la rive droite de l'Ionaivo. C'est une roche d'un gris verdâtre renfermant un peu de microcline et une grande quantité de quartz qui englobe des grains de scapolite et de diopside ; il existe un peu de sphène et de calcite.

Dans toutes les roches qui viennent d'être décrites, les wernérites constituent un élément contemporain des feldspaths, ou tout au moins formé sous les mêmes influences métamorphiques. Il n'en est plus de même pour la wernérite d'une roche recueillie à 4 kilomètres à l'Ouest du mont Ambohitsitanandro, en aval de Fenoarivo (vallée du Zomandao). De grandes plages de plagioclase basique sont corrodées et progressivement épigénisées par une scapolite qui constitue des cristaux nets dans des cavités, où elle est associée au diopside ; ce mode de formation, par voie secondaire, doit être comparé à celui que j'ai observé pour le dipyre des roches ophitiques des Pyrénées [1].

η. **Wernéritites et para-pyroxénites wernéritiques.** — Ces roches sont les homologues des gneiss à pyroxène et des pyroxénites feldspathiques, mais les feldspaths y sont complètement remplacés par une wernérite (scapolite et plus rarement dipyre). Par apparition de plagioclases, elles passent aux roches précédentes, de même que par la présence de la calcite, elles offrent des transitions ménagées aux calcaires cristallins.

Quand ces roches sont à grands éléments, la wernérite se distingue à l'œil nu par l'éclat de sa cassure et l'éclat nacré de ses clivages prismatiques ; sur les surfaces exposées à l'air, elle prend une couleur d'un blanc laiteux.

Je réserve le nom de *wernéritites* aux types dans lesquels une wernérite constitue la presque totalité de la roche.

Les wernéritites proprement dites sont des roches blanches qui, sur la route d'Ampanihy à Tranoroa, sont uniquement constituées par du dipyre, alors que sur la rive droite du ravin de Sakamay, près Ampanihy un type à grands éléments est formé de scapolite (avec quartz, calcite, sphène, biotite). Non loin de là, dans le ravin de Sakaginadra, une roche analogue est constituée par de la scapolite en voie de damouritisation et par du graphite ; la même roche se trouve au col d'Isandelaka (*analyse* **165**).

A Tranomaro, une wernéritite à scapolite, d'un gris de fumée, est riche en gros cristaux de wollastonite blanche.

1. *Bull. Soc. franç. minér.*, t. XIV, 1891, p. 16.

Le type le plus fréquent de *para-pyroxénite wernéritique* est caractérisé par l'association de la scapolite et d'un diopside vert ; le sphène brun y est presque constant. Voici quelques gisements caractéristiques :

Dans la région de Bejofo, la calcite est fréquente [à Andranovato (Pl. 27, fig. 3) la scapolite est limpide ou renferme des inclusions aciculaires noires ; Lohany, sur la rivière Befiana ; ruisseau Beheny (affluent de l'Ankingafohy, près Ambohitsara)]. Voici d'autres gisements : Ambatoriha, route de Bealanana à Antsalonja (scapolite jaune citron) ; Sud de Makobo, haute Sofia (avec quartz) ; Analaidirana (avec quartz et actinote) ; Andranomarary (Est de Malaimbandy) ; Amborompotsy [variété à grands éléments (*analyse* **173**)] ; région d'Ampanihy (types à grands éléments, ressemblant à des diorites) [rivière Sakamay ; 3 kilomètres d'Ampanihy sur route d'Ampotaka ; quand il existe un peu de calcite celle-ci disparaît aux affleurements, laissant des cavités que tapissent des cristaux de silicates)] ; environs de Tananarive (fort Duchesne ; au-dessous de l'Observatoire).

Les pyroxénites wernéritiques sont très abondantes au Sud de l'Onilahy et particulièrement dans l'Androy : Sud-Ouest de Tsivory ; Ampilofilo ; vallée du Manambolo ; entre Behara et Tranomaro (diopside vert grisâtre) ; entre Behara et Ranopiso (variété à grands éléments à aspect dioritique, avec hornblende et variété à grain fin avec calcite et orthose) ; Antsanira (avec des passages à des pyroxénites) ; Isandela, au Sud de Tsilamaha (un peu de biotite) ; près de Belio (tantôt scapolite et tantôt dipyre, avec quartz et pyrrhotite) ; la vallée de la Menaty ; entre Ianakafy et Ivohiby, en amont de Benenitra ; la Sakave (type riche en diopside) ; Itrongay (pyroxénite verte passant à une véritable pyroxénite).

Beaucoup plus rarement le pyroxène est un diopside blanc et, par suite, la roche est elle-même de cette même couleur ; Antetezantany sur la Manandry (Ouest de Mahanoro) (avec calcite et scolécite secondaire). Sur le flanc Ouest du col d'Isandelo, une wernéritite rubanée présente des lits incolores, formés par de la scapolite et d'autres, riches en pyroxène d'un rose violacé.

Une variété de wernéritite renferme de la wollastonite[1] dont les clivages sont plus nacrés que ceux de la scapolite : Ambohitsara près Bejofo (avec sphène, orthose et calcite). Dans l'Androy, ces roches sont assez abondantes et toujours à grands éléments (Nord d'Esira ; Analamazava sur le Mandrare, etc.). Elles passent aux wollastonitites décrites plus loin.

ι. **Composition chimique des para-pyroxénites.** — J'ai réuni dans ce même para-

1. Ces roches sont à comparer à quelques-unes de celles du pays des Herero dans l'Afrique Sud occidentale, décrites par U. Wulf (Beiträge zur Petrographie des Hererolandes, *Tschermak's miner. petr. Mitt.*, t. VIII, 1887, p. 193), et que j'ai moi-même étudiées (*Op. cit.*, p. 172).

graphe les analyses de toutes les roches que je considère comme résultant de la transformation de marnes. Elles sont caractérisées par une grande richesse en chaux, pouvant atteindre 32 pour 100. La teneur en silice est le plus généralement inférieure à 50 pour 10 et elle tombe même pour certains types au-dessous de 37 pour 100. C'est, avec une teneur faible en fer, en magnésie, en titane et en alcalis, la caractéristique différentielle de ces roches et des ortho-pyroxénites. Les types riches en alumine, qui en renferment jusqu'à 30 pour 100 constituent des *grenatites*, quand il n'y a pas d'alcalis, ou des *wernéritites* lorsque la teneur en alcalis est notable. En général, l'apparition d'une wernérite est en relation avec une teneur plus élevée en alcalis, mais celle-ci n'est pas nécessairement très grande, ainsi que le prouve la richesse en chaux de certaines des scapolites observées.

Un premier tableau renferme les analyses suivantes: **163**) *grenatite feldspathique* à épidote, route d'Ejeda à Ampanihy; **164**) *grenatite feldspathique*, Ambatonalihala; **165**) *wernéritite*, Nord-Est du col d'Isandelo; *pyroxénites feldspathiques à scapolite*; **166**) rive gauche de la Manakaralahy; **167**) col d'Isandelo; **168**) Ambohimirakitra; **169**) Tsaramody; **170**) *gneiss à pyroxène et ouwarowite*, Berivotra; **171**) *gneiss pyroxénique quartzifère* Ouest du mont Belambana; **172**) *pyroxénite feldspathique à spinelle*, Marohavana.

	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172
SiO^2. . .	39,78	40,04	39,30	45,38	36,30	47,42	46,50	45,88	53,70	34,70
Al^2O^3. .	30,25	27,02	28,04	24,89	23,02	16,65	14,50	12,88	10,62	25,30
Fe^2O^3. .	1,31	2,87	1,14	2,94	1,16	1,81	3,03	0,85	1,76	7,56
FeO. . .	2,07	4,75	0,36	0,81	0,56	2,99	2,53	3,21	9,55	6,65
MgO. . .	0,75	0,06	0,91	2,41	2,55	4,46	6,95	5,32	2,72	4,47
CaO. . .	24,52	24,24	24,86	19,08	26,84	22,14	23,80	23,44	19,70	14,75
Na^2O. . .	0,14	0,29	1,84	0,60	0,66	1,77	0,99	0,62	0,30	0,83
K^2O. . .	0,08	0,28	0,46	1,73	0,59	0,42	0,15	0,19	0,17	2,17
TiO^2. . .	0,79	0,39	0,86	1,19	0,39	0,98	0,65	1,76	1,17	1,86
P^2O^5. . .	0,07	0,07	0,58	0,48	0,53	0,16	0,20	0,39	0,05	»
H^2O + . .	0,29	0,23	0,74	0,18	0,57	0,22	0,33	1,01	0,26	2,00
— . .	0,18	0,05	0,21	0,33	0,25	0,11	0,12	0,13	0,10	
CO^2. . .	»	»	0,71	0,37	6,85	0,74	0,15	»	»	»
CL. . .	»	»	0,11	0,04	»	0,11	»	4,69 (Cr^2O^3)	»	»
	100,23	100,29	100,12	100,43	100,27	99,98	99,90	100,37	100,10	100,29

Dans ce tableau, se trouve l'analyse de roches de plus en plus riches en pyroxène et dont, par conséquent, la teneur en alumine diminue progressivement. Il existe des types encore moins alumineux, les uns de couleur très foncée par suite de la grande abondance du diopside vert sombre, telle la *pyroxénite wernéritique* d'Amborompotsy (*analyse* **173**), mais dans d'autres cas, la roche est de couleur claire, quand le pyroxène prédominant est la wollastonite, comme dans la *wollastonitite à scapolite* de Behara-Tsilamaha dont l'analyse est donnée

en **174**) ; comme comparaison, on trouvera en *a*) l'analyse d'une wollastonitite sans diopside, mais renfermant du grenat, du quartz et du sphène (Amador Co, Californie, *in* Rosenbusch, *Elemente....*, p. 672).

	173	**174**	*a*
SiO^2	47,58	46,42	50,67
Al^2O^3	9,62	8,09	6,37
Fe^2O^3	3,47	2,33	0,31
FeO	3,56	3,91	0,50
MgO	8,92	2,37	0,58
CaO	23,44	32,00	40,34
Na^2O	1,56	1,32	0,14
K^2O	0,61	0,37	0,22
TiO^2	0,79	0,69	»
P^2O^5	0,14	0,59	»
H^2O +	0,05	0,31	0,31
—	0,31	»	»
CO^2	0,19	1,83	0,52
Cl	0,09	0,08	»
	100,33	100,39[1]	99,96

Il n'a été publié jusqu'ici que très peu d'analyses de roches de ce genre susceptibles d'être comparées aux pyroxénites malgaches, aussi ai-je fait analyser quelques roches françaises que je pensais pouvoir en être rapprochées. Tel est le cas du gneiss à pyroxène et wollastonite de Saint-Félicien (Ardèche) (*analyse* A) et de la pyroxénite feldspathique de Roguédas (Morbihan) (*analyse* B) dont j'ai donné jadis la description minéralogique[2]. Ces roches présentent les mêmes caractères chimiques que le type le moins calcique des pyroxénites malgaches, mais elles sont un peu plus riches en alcalis que la roche **171**.

	A	B
SiO^2	52,30	47,92
Al^2O^3	13,32	19,55
Fe^2O^3	2,84	1,27
FeO	4,26	3,34
MgO	2,76	3,45
CaO	19,88	18,90
Na^2O	1,66	1,68
K^2O	0,92	1,09
TiO^2	1,19	1,24
P^2O^5	0,17	0,47
H^2O +	0,78	0,91
—	0,23	0,21
	100,31	100,03

Par contre, les pyroxénites à wernérite de la Loire-Inférieure présentent avec

1. Y compris SO^3 0,08.
2. *Op. cit.*

les pyroxénites wernéritiques de Madagascar des différences très notables, ainsi que le montrent les analyses suivantes (M. Raoult) faites sur des roches provenant, C) de Saint-Brevin ; D) du Point-du-Jour ; E) de la Grée, près Saint-Brevin (avec grenat) ; F) de Ville-ès-Martin, près Saint-Nazaire. Ces roches, en effet, qui, elles aussi, sont associées à des calcaires cristallins, auxquels elles passent insensiblement, sont beaucoup plus pauvres en chaux et plus riches en alcalis, ce qui entraîne l'existence non pas de la scapolite, mais du dipyre et fréquemment la présence de l'orthose. Ce sont là des exemples très nets de calcaires métamorphisés par apport pneumatolytique.

	C	D	E	F
SiO^2	57,60	55,18	64,36	52,72
Al^2O^3	9,05	13,53	10,03	16,43
Fe^2O^3	2,58	3,09	2,71	2,00
FeO	4,83	3,21	2,76	2,57
MgO	2,84	3,77	1,83	4,11
CaO	13,82	12,28	11,52	14,52
Na^2O	4,43	4,00	2,94	2,76
K^2O	1,47	2,11	1,85	2,21
TiO^2	1,62	0,99	1,27	1,39
P^2O^5	0,23	0,47	0,17	0,11
H^2O +	0,23	0,64	0,28	0,81
—	0,22	0,35	0,23	0,35
CO^2	1,02	0,48	0,19	0,16
Cl	0,12	0,21	0,08	0,08
SO^3	0,07	»	»	»
	100,13	100,31	100,22	100,22

b. — Para-amphibolites feldspathiques.

On vient de voir que les divers types de pyroxénites feldspathiques renferment souvent de l'amphibole ; quand celle-ci prend une importance plus grande, la roche passe à de véritables *amphibolites feldspathiques*. Il existe d'autre part de telles roches qui ont une existence propre et qui ne contiennent pas de pyroxène. Le feldspath de ces amphibolites est souvent extrêmement basique et l'existence d'anorthite n'y est pas incompatible avec celle du quartz.

α. **Amphibolites à trémolite-actinote.** — Deux groupes peuvent être distingués dans ces amphibolites. Pour les unes, la nature de l'amphibole, appartenant au groupe de trémolite-actinote, ne laisse aucun doute sur l'origine de la roche, qui est de couleur claire. En voici des cas typiques :

Au Nord de Befamonty (Nord de Benenitra), les gneiss renferment une amphibolite à smaragdite, d'un vert très éclatant, dont le plagioclase (bytownite) est

presque entièrement damouritisé. Une roche analogue se trouve, à l'état de blocs, dans la tillite d'Ibeandry; elle se voit en place, associée aux calcaires cristallins qui affleurent sur le bord de la rivière, dans une fenêtre ouverte au milieu de sédiments charbonneux.

Sur les bords de la Manakaralahy, se rencontre une amphibolite, constituée par une pargasite d'un blond clair, associée à du diopside et à de l'anorthite, en partie damouritisée. Cette roche passe à une amphibolite constituée par de la pargasite laminaire qui prend des formes nettes lorsqu'il subsiste de la calcite. Elle passe d'autre part à des calcaires à anorthite et corindon.

β. **Amphibolites à hornblende.** — Un second groupe d'amphibolites feldspathiques est caractérisé par une amphibole d'un vert foncé du groupe de la hornblende. Ces amphibolites sont quelquefois grenatifères; plus souvent schisteuses qu'uniformément granoblastiques, elles présentent une grande analogie avec les ortho-amphibolites et il n'est pas toujours facile de les en distinguer, sans le secours de l'analyse chimique; cependant le plagioclase est généralement plus basique; ces roches renferment à l'occasion du sphène et des minerais.

Voici quelques gisements caractéristiques dans lesquels la structure est nématoblastique: Soamanonga (avec diopside); sommet du mont Ampanobe; en face Bemavo (10 kilomètres Sud du Mangoky du Nord) (banc dans cipolins); entre Antanimora et Tsimilofo (anorthite en partie damouritisée), etc.

γ. **Amphibolite albitique.** — Une roche rubanée ou schisteuse tout à fait exceptionnelle joue un rôle important dans le gisement de phlogopite de Volonandrongo. Alternant avec une pyroxénite exclusivement constituée par du diopside, elle est formée par de l'albite et par une trémolite brunâtre, avec un peu de phlogopite qui se concentre dans des lits distincts.

L'analyse **175** (M. Raoult) conduit à un type chimico-minéralogique prévu dans la classification des roches éruptives 'III.'5.1.4(5), mais réalisé par des roches fort rares[1] et qui, toutes, renferment une grande quantité de fer, avec peu de magnésie et de chaux, alors que la roche qui nous occupe est peu ferrifère, très magnésienne et assez calcique. Il me paraît peu probable qu'il s'agisse là d'une roche éruptive transformée et l'on peut se demander si l'on ne se trouve pas plutôt en présence d'un sédiment modifié par action de contact. Cela est d'autant plus vraisemblable que la présence de veines pegmatiques constituées essentiel-

1. Tel est le cas de la syénite mélanocrate à riebeckite d'Alter Pedroso (Portugal) [III.5(6).1.4] que j'ai appelée *lusitanite* (*C. Rend.*, t. CLXIII, 1916, p. 279), et qui renferme 20 pour 100 de $FeO + Fe^2O^3$ et seulement 0,41 de MgO, avec 1,06 de CaO.

lement par de la phlogopite, qui est exploitée dans ce gisement, indique l'importance que les actions pneumatolytiques ont joué dans le métamorphisme des roches de cette région.

	175
SiO^2	62,04
Al^2O^3	10,19
Fe^2O^3	1,95
FeO	1,13
MgO	10,51
CaO	6,26
Na^2O	5,56
K^2O	0,95
TiO^2	0,81
P^2O^5	0,14
H^2O +	0,17
—	»
CO^2	0,27
	99,98

CHAPITRE V

ROCHES EXCLUSIVEMENT FERRIFÈRES OU ALUMINEUSES

I. — MAGNÉTITE.

On a vu plus haut que les quartzites à magnétite de l'île deviennent parfois si pauvres en quartz qu'ils sont presque exclusivement constitués par de la magnétite.

Je ne reviendrai pas sur ce point, mais je signalerai qu'un grand nombre de gisements gneissiques de l'île renferment aussi des amas de magnétite dont l'allure serait à déterminer. On les connaît seulement, en effet, sous la forme de blocs, souvent de très grande taille, et extrêmement nombreux (Falimanjaka, près Ambohidrabiby ; région du mont Vohibory et de Soamanonga). Ils présentent fort souvent une particularité qui mérite d'être signalée, c'est l'extraordinaire abondance de cristaux de zircon, généralement jaunâtres, visibles à l'œil nu et ayant jusqu'à 1 à 2 millimètres de diamètre. Ils sont accompagnés par des grains de quartz, comme eux englobés par la magnétite ; je citerai comme gisement Miakanjovato. Sur la rive droite de la Mahasoa, en amont de Benenitra, il existe en outre des moules cloisonnés d'un silicate disparu.

Le gneiss à sillimanite et grenat, si abondant entre Zazafotsy et Amboanana, renferme des lits de magnétite formés de cristaux orientés et mesurant environ $0^{cm},5$, ils alternent avec des lits de sillimanite fibreuse d'un beau blanc.

Il existe aussi des amas de magnétite, généralement titanifère, qui ne sont pas associés à du quartz, mais à des amphiboles, à du pyroxène et qui sont en relation avec des gneiss basiques. Je citerai comme exemple ceux de la vallée de la Beampihotsy, affluent de la Linta, et ceux de la route de Tananarive à Miarinarivo.

II. — FERS TITANÉS.

Les leptynites d'Androngovato, entre Itrongay et Sahaninoka, et celles qui s'observent à 5 kilomètres au Nord-Ouest d'Itrongay renferment des intercalations du curieux minerai à texture coccolitique que j'ai décrit t. I, p. 264 et qui est constitué par une association microperthitique d'hématite et de crichtonite.

Enfin, à Tsarafangitry, au Nord-Ouest de Vangaindrano, abondent, à la surface du sol, des blocs d'ilménite qui renferment à la fois de nombreux cristaux de zircon et des pseudomorphoses ferrugineuses de pyroxène (?) et sont comparables à ce point de vue à la magnétite de la Mahasoa. Peut-être cette ilménite constitue-t-elle des intercalations au milieu de gneiss basiques ?

III. — ITABIRITE.

L'itabirite est une roche schisteuse formée de petites paillettes d'hématite, à éclat métallique très éclatant, généralement associées à de la magnétite. Une roche de ce genre, tout à fait semblable à celle du Brésil, se trouve à Mandro près de Betafo, non loin du gisement cuprifère. Elle est intercalée dans les quartzites de la zone cristallophyllienne supérieure et, par suite, dans des conditions de gisement identiques à celles de l'itabirite du Brésil qui accompagne l'itacolumite.

J'ai vu des échantillons du même genre provenant d'Antezamiongana, à 3 kilomètres au Nord de Vinany (environs d'Ambatomarina, dans le district d'Ambatofinandrahana).

IV. — ROCHES ESSENTIELLEMENT ALUMINEUSES.

J'ai décrit page 462 divers types de *corindonites*, en proposant, pour expliquer leur origine, une liaison avec des phénomènes de contact granitique. Si cette hypothèse n'était pas exacte, ces roches devraient prendre place ici dans le groupe lithologique qui comprend l'*émeri* dont elles représentent la forme la plus pure.

TROISIÈME DIVISION

ROCHES INTRUSIVES POST-LIASIQUES

J'ai fait connaître l'existence de trois principaux centres d'intrusion de roches grenues dans les régions sédimentaires de Madagascar.

Le premier, de grande étendue, constitue ce que j'ai appelé la *Province pétrographique d'Ampasindava* (Cf. t. I, p. 185), à laquelle il y a lieu de rattacher de petits gisements disséminés dans le Massif cristallin, au voisinage de sa bordure sédimentaire : ils se prolongent, du côté du Nord-Est, jusqu'à la vallée de la Loky.

Les deux autres consistent dans les massifs de l'Ambohitrosy (Ambongo) (Cf. t. I, p. 103) et du Fonjay, sur la rive droite du Manambao (Cf. t. I, p. 104).

Il faut y ajouter de nombreux dykes se trouvant dans la région gréseuse triasique qui longe la bordure du Massif cristallin, au Sud de la Betsiboka, jusqu'au voisinage de Miandrivazo et peut-être aussi quelques intrusions situées plus à l'Ouest, ainsi que d'autres observées dans le massif volcanique de l'Androy (Cf. t. I, p. 131) : elles consistent surtout en microgranites ; je manque d'ailleurs d'observations géologiques précises sur le gisement de ces derniers, ils forment peut-être des dômes superficiels plutôt que de véritables intrusions ; je les décrirai cependant dans ce chapitre.

Toutes les roches dont il s'agit ici sont postérieures au Lias ; quelques-unes de celles de la province d'Ampasindava sont postérieures au Jurassique moyen ; celles de l'Androy ont un âge minimum plus récent encore. Elles sont parfois accompagnées d'épanchements dont l'âge exact ne peut être daté ; on peut affirmer seulement que certains d'entre eux datent du Crétacé. On lira dans le tome III, la description des rhyolites à ægyrine, chimiquement identiques à certains granites à aegyrine de la province pétrographique d'Ampasindava, et qui se trouvent à l'état

de galets dans un conglomérat intercalé à Mahabo (Sud de la Betsiboka) entre les argiles d'Ankezomihaloka et les grès turoniens à Dinosauriens.

J'ai consacré de nombreuses notes et deux importants mémoires [131-132] à la description minutieuse des roches de la région d'Ampasindava; dans le présent chapitre, je n'insisterai que sur les faits principaux qui les concernent[1] et sur les observations nouvelles datant pour la plupart de mon voyage dans l'île. Je renvoie pour le reste à mes travaux antérieurs et particulièrement aux 17 planches in-4, où sont reproduites, par la photographie, les particularités de structure les plus intéressantes.

1. On trouvera plus loin beaucoup d'analyses chimiques nouvelles; plusieurs de celles que j'ai publiées antérieurement, et qui avaient été effectuées par Pisani, ont dû être refaites partiellement; c'est la cause des différences que l'on pourra remarquer entre certains des nombres actuels et ceux que j'ai donnés en 1902-1903.

CHAPITRE PREMIER

ROCHES QUARTZIQUES

I. — GRANITES ET PEGMATITES.

Trois régions de la zone sédimentaire renferment des intrusions de granites alcalins (Cf. t. I, p. 88 et 104).

La première est constituée par les contreforts Nord du massif des Deux-Sœurs, notamment dans la région d'Ampasibitika ; les granites y constituent des laccolites et surtout des dykes dans les grès et les calcaires du Lias supérieur qu'ils métamorphisent.

La seconde région, située au Sud-Est de la précédente, se trouve à l'Est de Manongarivo et dans le massif de l'Antsatrotro ; les sédiments en contact sont des grès, en partie triasiques.

Enfin, c'est encore dans le Trias que se trouvent les granites de l'Ambohitrosy (Ambongo).

A. — *Granites à métasilicates ferro-sodiques.*

Une caractéristique de ces granites est à opposer à celle du granite à riebeckite connu dans le Massif cristallin. Elle réside dans l'absence du microcline quadrillé ; les feldspaths sont toujours constitués par de l'orthose sodique, faculée d'albite ou associée à ce feldspath en microperthite ; l'albite y existe parfois aussi en cristaux indépendants. Ces feldspaths sont automorphes, quand le quartz est abondant, ils sont généralement aplatis suivant g^1 ; lorsque le quartz est rare, les cristaux de feldspaths sont enchevêtrés, et laissent entre eux des cavités miarolitiques que remplissent souvent imparfaitement les métasilicates et le quartz ; les granites de ce type passent à des syénites quartzifères.

Des distinctions peuvent être établies dans ces granites d'après la nature de leurs métasilicates.

a. — Granites à lanéite.

La lanéite se présente en lames minces avec une couleur d'un brun un peu rosé, mais elle est toujours verdâtre ou bleuâtre sur sa périphérie, passant alors à la riebeckite ou à l'arfvedsonite; quand elle est associée à l'aegyrine, il arrive que les deux minéraux soient groupés à axes parallèles; l'aegyrine offre souvent des couleurs irrégulières, vertes ou jaunes, avec une légère teinte rosée. A ces minéraux, il faut ajouter du zircon et de l'apatite. Le pyroxène forme quelquefois des cristaux allongés suivant l'axe vertical, mais il constitue plus souvent des plages moulant les feldspaths et cette structure est toujours celle de la lanéite qui, dans les variétés passant aux syénites, est quelquefois franchement ophitique par rapport aux feldspaths. Dans le massif d'Antsatrotro, l'aegyrine peut-être remplacée pas un diopside à peine verdâtre en lames minces, associé à un peu de biotite. Quant au quartz, il est en grande partie de formation postérieure (*analyse* **176**).

Les gisements de ces granites de couleur claire sont : Ampasibitika, Ambaliha et surtout le massif de l'Antsatrotro (Antsahalava, Antsahabe, Antsahakolany, Bekolosy), puis, dans la région de Manongarivo, Ankijanibe, Befosa.

Lindinosite. — D'ordinaire dans toutes ces roches, les métasilicates sont peu abondants, mais à Ampasibitika et à Ambaliha se rencontrent des roches franchement mésocrates (*analyse* **178**) qui, par l'abondance des minéraux colorés, rappellent une roche de Lindinosa (Corse) que je désigne sous le nom de *lindinosite* et qui renferme plus de 50 pour 100 de riebeckite, associée à du quartz et à du feldspath, mais celui-ci est le microcline. Ces roches sont à paralléliser avec la *lusitanite* [1] d'Alter Pedroso de la série syénitique sodique; on sait combien sont rares les roches mésocrates dans les syénites et les granites alcalins.

On peut comparer les granites qui viennent d'être décrits à ceux qui ont été étudiés par M. Garde [2] à Zinder et dans le Mounio, au Nord du lac Tchad.

Granites à aegyrine et lanéite. — La structure miarolitique n'est pas rare dans les granites qui viennent d'être décrits, elle est constante et plus accusée encore dans les granites de l'Ambohitrosy; dans ceux-ci, la proportion d'aegyrine est beaucoup plus considérable que dans celle des autres gisements ; il existe même des types, dans lesquels l'aegyrine est seule, mais il y a lieu de penser que dans ce cas, elle est, au moins en partie, le résultat d'une épigénie de lanéite. Plus souvent que dans les roches de l'Antsatrotro, l'aegyrine est remplacée par un diop-

1. A. Lacroix, Les syénites à riebeckite d'Alter Pedroso (Portugal) : leur forme mésocrate (lusitanite) et leur transformation en leptynites et en gneiss, *C. Rendus*, t. CLIII, 1916, p. 279.

2. *Description géologique des régions situées entre le Niger et le Tchad, et à l'Est et au Nord-Est du Tchad*, Clermont-Ferrand, 1910, p. 234.

side, légèrement verdâtre en lames minces ; cela a lieu surtout dans les types pauvres en quartz qui passent à des syénites quartzifères ; l'albite est aussi plus abondante que dans les gisements de la province pétrographique d'Ampasindava ; on voit, par l'*analyse* **177**, qu'à l'inverse de ce qui a lieu dans le granite d'Antsatroto, la teneur en soude est plus élevée que celle de la potasse.

Les granites de l'Ambohitrosy sont les premiers granites alcalins malgaches que j'ai étudiés, dès 1900 [129] ; les échantillons, que je dois à Prince et à M. E. Gautier, renfermaient de grands cristaux bruns d'aenigmatite ; ils ont été sans doute recueillis dans une portion de la montagne différente de celle où M. Giraud et M. Perrier de la Bathie ont récolté plus tard leurs échantillons, car dans ceux-ci je n'ai pas retrouvé ce minéral.

Les variétés syénitiques renferment de petites enclaves noires, micromonzonitiques.

b. — Granites et pegmatites à riebeckite.

La région d'Ampasibitika renferme, comme roche dominante, des granites à riebeckite de types variés. Les uns sont à grain uniforme, à gros grain ; la riebeckite, d'un noir bleu, ressort au milieu du quartz et du feldspath blanc ou jaunâtre. Les autres renferment des cristaux porphyroïdes de riebeckite, allongés suivant l'axe vertical, et ayant de quelques centimètres jusqu'à un décimètre. Il existe même des variétés pegmatiques à énormes éléments ; près d'Andrombanga, à l'Est d'Ampasibitika, j'ai vu, dans la forêt, des blocs éboulés renfermant des cristaux de riebeckite atteignant 20 centimètres suivant l'axe vertical. Déjà à l'œil nu, l'on s'aperçoit que cette riebeckite englobe poecilitiquement un grand nombre de cristaux de feldspaths.

Au microscope, on constate que l'orthose est peu faculée d'albite, l'aegyrine est abondante ; elle moule les feldspaths et une partie du quartz ; ainsi que les feldspaths, elle est enveloppée par la riebeckite. Des cristaux d'aenigmatite bruns, très polychroïques, à macles binaires, sont assez abondants.

Le quartz renferme une prodigieuse quantité d'inclusions liquides à bulle mobile, avec parfois des cubes de chlorure de sodium.

Le zircon est très abondant, sa cristallisation est souvent en partie postérieure à celle des feldspaths. Il se présente sous trois formes : en octaèdres $b^{1/2}$, en cristaux $mb^{1/2}$, un peu allongés suivant l'axe vertical, enfin en petites concrétions fibreuses, généralement troubles. Toutes ces variétés, englobées dans de grandes plages de quartz, constituent des squelettes d'un minéral disparu [1] dont les formes

1. Dans les planches de mon mémoire de 1903 [132], j'ai donné des photographies représentant les diverses particularités minéralogiques décrites ici.

et les dimensions m'ont fait penser autrefois à des pseudomorphoses de riebeckite, bien que de tels agrégats se rencontrent parfois dans des roches, où cette amphibole est encore intacte. Il en est dans lesquels ces pseudomorphoses sont tellement abondantes et tellement grosses qu'elles constituent de petites taches rose chair, visibles à l'œil nu. Ce fait est réalisé dans des échantillons ne renfermant plus d'amphibole visible. J'ajouterai que ces échantillons contiennent, en abondance, des mouches de *galène*, indiquant l'intervention d'agents pneumatolytiques dans ces transformations.

Pour compléter la description de cette roche, il me faut signaler l'abondance d'un minéral octaédrique, jaune d'or, à rapporter à la *microlite*, un peu de sphène et de fluorine.

J'ai vu en place ces granites dans toute la montagne d'Ampasibitika, à Andranomantoraka et, sous forme de blocs éboulés, dans la région d'Ambaliha. Un échantillon recueilli par M. Perrier de la Bathie à l'état de galet dans l'Ambahatra, affluent de gauche du Sambirano, montre que, sur la lisière orientale de la province d'Ampasindava, il existe des gisements analogues qui n'ont pas été encore reconnus en place.

Filons très minces. — Ces granites à riebeckite envoient dans les cornéennes d'Ampasibitika un grand nombre de petites apophyses dont l'épaisseur n'a souvent pas plus d'un centimètre; celles d'une dizaine de centimètres sont particulièrement abondantes: on les voit souvent envoyer elles-mêmes un nombre considérable de petites ramifications horizontales parallèlement au rubanement du sédiment. Ces filons ont une structure constante ; ils sont à grain fin et riches en aegyrine sur les bords, pegmatiques et très quartzeux au centre. Dans cette partie, à grands éléments, il existe un peu d'amphibole, présentant toujours ces pseudomorphoses en hédenbergite aegyrinique dont il va être question plus loin et aussi en quartz. Le zircon, la microlite sont constants et souvent particulièrement abondants. La partie axiale des filons est très fréquemment occupée par un minéral noir de poix, à éclat gras très éclatant, constitué par de l'aenigmatite à macles polysynthétiques, à peine transparente en lames très minces: elle est associée à de l'allanite de même couleur, possédant la biréfringence et le polychroïsme intense de la *cérine* de Bastnaes, en Suède. Ces deux minéraux n'ont pas de formes géométriques, ils remplissent les intervalles des feldspaths et du quartz.

Certains de ces filons sont imprégnés de pyrite et contiennent en abondance de la fluorine violette.

Les analyses données ci-contre montrent que l'existence de la riebeckite associée à l'aegyrine ou son absence ne sont pas une conséquence systématique de variations importantes de composition chimique ; la teneur en fer ferreux plus grande

dans le cas des roches à riebeckite que dans le cas de celles à aegyrine est la variation la plus notable qui ressort de l'examen de ces analyses. Il est incontestable que ces minéraux peuvent se remplacer et que l'on ne rencontre pas un seul gisement, où il n'existe pas au moins des traces de l'un associé à l'autre. M. Murgoci a discuté jadis cette question[1] et a attribué à des variations de pression et de minéralisateurs, l'influence prédominante dans la production de l'un plutôt que de l'autre de ces minéraux. Il me semble logique d'admettre avec MM. Warren et Palache[2], qu'à cette cause, s'ajoute des concentrations locales de certains des constituants de ces minéraux de composition quantitative différente.

Analyses : *Granites à lanéite* : **176**) Antsatrotro (I)II.4.1.3′ (Boiteau); Mounio : *a*) Diamotto, I′.′4.1.3 ; *b*) entre Dirikoa et Mia, I(II).4′.1.3′ (Pisani); **177**) *Granite à aegyrine et à lanéite,* Ambohitrosy, I(II).4.1.′4 ; **178**) *Lindinosites,* Ampasibitika (à lanéite), III.4.1.3(4) : A) Lindinosa (à riebeckite), III.3.1.′2 (M. Raoult).

	176	a	b	177	178	A
SiO^2	67,75	72,10	71,90	69,10	59,50	61,72
Al^2O^3	12,76	11,62	11,38	11,88	8,84	4,21
Fe^2O^3	3,07	3,37	1,92	5,39	4,83	13,94
FeO	3,14	2,68	2,34	1,49	10,93	9,83
MgO	0,66	0,41	0,52	0,36	0,47	0,28
CaO	1,04	1,08	1,31	1,10	5,50	0,48
Na^2O	4,75	3,57	5,75	5,36	4,19	4,54
K^2O	5,14	4,85	4,56	3,70	3,22	3,23
TiO^2	0,59	0,47	0,39	0,71	0,59	0,69
P^2O^5	0,11	»	»	0,07	0,10	0,07
H^2O +	0,67	0,55	0,20	0,28	1,24	0,69
—	0,10			0,28	0,63	0,13
	99,78	100,70	100,27	99,72	100,13[3]	100,02[4]

D'autre part, dans le tableau suivant, je réunis des analyses de granites à aegyrine et riebeckite d'Ampasibitika (Pisani) et je les compare à des types analogues provenant de Corse (M. Raoult).

Ampasibitika : **179**) *Granite à aegyrine et riebeckite,* II.3.1.(3)4 ; **180**) *Idem* (centre du filon), II.3′.1.3 ; **181**) *Idem* (bords), II.3.1.4 ; **182**) *Idem* (pegmatite), II.′4.1.4.

Corse : *Granites à riebeckite et aegyrine* : A) Ota, ′II.3′.1.3 ; B) Lindinosa, I(II).3(4).1.3′ ; C) Capo alla Cuculla, ′I.3(4).1(2).3(4) ; D) portion de C plus riche

1. *Amer. J. of Sc.*, t. XXXIII, 1905, p. 133.
2. The pegmatites of the Riebeckite-Ægyrite Granite of Quincy, *Proceed. Am. Acad. Boston,* t. XLVIII, n° 4, 1911, p. 145.
3. Y compris S 0,09.
4. Y compris MnO 0,21.

en riebeckite, II.'4.1.3. Il est à remarquer qu'à l'exception de 181 et de 182, tous ces granites à riebeckite et aegyrine sont sodi-potassiques, la teneur en soude étant tantôt un peu plus grande, tantôt un peu plus petite que la potasse ; c'est d'ailleurs un caractère très habituel aux granites à riebeckite et ægyrine qui, sauf quelques exceptions, ne doivent pas être considérés comme des roches essentiellement sodiques.

	179	180	181	182	A	B	C	D
SiO^2	72,00	70,40	68,70	63,70	75,32	75,76	74,62	67,62
Al^2O^3	10,40	7,85	6,85	9,78	9,32	10,19	11,87	9,77
Fe^2O^3	4,75	6,98	9,93	9,01	3,84	2,27	2,43	5,22
FeO	2,30	2,98	1,14	7,85	1,14	3,49	2,80	6,49
MgO	0,78	0,52	0,26	0,45	0,38	0,14	0,41	0,43
CaO	0,52	0,26	1,34	1,36	0,68	0,49	0,72	1,04
Na^2O	4,71	4,05	4,56	3,98	4,16	3,72	3,66	4,19
K^2O	3,80	4,45	2,76	2,36	4,61	3,95	3,33	4,42
TiO^2	»	0,13	0,26	0,30	»	»	»	»
P^2O^5	»	tr.	»	»	0,04	0,17	0,05	»
H^2O +	0,75	0,25	0,50	0,50	0,12	0,04	0,38	0,54
—						»	0,12	0,12
MnO	»	0,13	tr.	0,12	0,23	tr.	0,12	0,26
ZrO^2	0,39	1,65	3,71	0,75	»	»	»	»
	100,61	99,65	100,01	100,16	99,84	100,22	100,51	100,10

Modifications endomorphes de ces granites.

Les granites à riebeckite d'Ampasibitika forment des filons dans les calcaires liasiques dont les transformations exomorphes seront signalées dans un chapitre spécial. Je me propose d'étudier ici les modifications endomorphes que j'ai observées dans le granite lui-même [149]. Elles sont de deux genres différents.

α. *Modifications pneumatolytiques.* — Dans un premier cas, le contact de la roche éruptive et du sédiment est absolument net ; il n'existe pas de zone de mélange. La structure du granite n'est pas modifiée et, au contact immédiat, sa composition est la même que dans le corps du filon. La seule différence à relever est que, sur un ou deux décimètres à partir du sédiment, les grands cristaux de riebeckite — il s'agit en effet de la variété caractérisée par les cristaux porphyroïdes de cette amphibole —, les grands cristaux de riebeckite ont perdu leur couleur d'un noir bleuâtre et la vivacité de leur éclat. Ils ont pris progressivement un aspect un peu terne et une couleur vert d'herbe. Leurs clivages sont devenus difficiles ; quand le minéral est franchement vert, on peut constater qu'ils présentent non plus l'angle de ceux de l'amphibole, mais de ceux du pyroxène. Il est possible de suivre, au microscope et souvent dans l'étendue d'un même cristal, l'épi-

génie progressive de la riebeckite (analyse *a*), (M. Raoult) en ce pyroxène (analyse *b*), par Pisani) qui est celui que j'ai appelé hédenbergite aegyrinique (Cf. t. I, p. 515). Il est intéressant de mettre en parallèle ces deux analyses :

	a	*b*
SiO^2	48,40	42,15
Al^2O^3	3,60	0,55
Fe^2O^3	14,70	17,40
FeO	18,39	17,80
MnO	0,18	0,50
MgO	0,43	1,10
CaO	2,00	14,10
Na^2O	7,56	3,35
K^2O	1,96	0,55
TiO^2	0,78	0,41
F	1,35	n. d.
H^2O +	0,76	1,90
—	0,05	
	100,16	99,81

La comparaison de la composition de ce pyroxène et de celle de la riebeckite montre que la pseudormophose s'est essentiellement effectuée par élimination d'alcalis et gain d'une quantité considérable de chaux ; cette opération n'est pas d'origine magmatique, puisqu'il est possible d'en suivre la marche progressive sur des cristaux dont la forme n'est pas changée et puisqu'aucun autre minéral du granite n'a subi d'altération concomitante pas plus dans sa composition que dans sa structure. Cette transformation s'est effectuée alors que la roche en place était complètement consolidée ; elle ne peut donc être due qu'à des actions pneumatolytiques et la chaux fixée a dû être enlevée aux sédiments voisins.

Des pseudomorphoses semblables sont constantes et généralement totales dans les minces veinules granitiques qui viennent d'être signalées, mais parfois la riebeckite y est remplacée, non plus par un cristal homogène d'hédenbergite aegyrinique, mais par un mélange de ce minéral, de quartz, de calcite et de fluorine ; cette dernière est surtout abondante quand la roche est riche en pyrite.

β. *Modifications par assimilation.* — Syénite à andradite. — Un second type de modification est caractérisé par ce fait que le contact de la roche éruptive et du sédiment n'est plus net. Il se fait par une zone de mélange, plus ou moins épaisse, et cela a lieu ainsi lorsque le sédiment est transformé en grenatite. La zone intermédiaire est à très gros grain et très mélanocrate ; à l'œil nu, elle paraît constituée par de l'augite aegyrinique, d'un vert foncé, par beaucoup d'*andradite* brunâtre et fort peu de feldspath. On observe en outre de grosses masses d'un brun foncé qui, à l'œil nu, semblent formées uniquement par de l'andradite et qui, isolées au

milieu de la roche endomorphe, restent orientées parallèlement aux épontes dont elles sont des portions imparfaitement digérées.

Au microscope, l'on constate que l'hédenbergite aegyrinique est accompagnée d'aegyrine. De gros rhombododécaèdres de grenat sont fort abondants ; incolores et biréfringents sur les bords (grossulaire), ils sont colorés en brun et monoréfringents (andradite) dans la plus grande partie de leur masse. Par places, apparaissent des cristaux nets d'*épidote* ferrugineuse, d'un jaune très foncé, à la fois très polychroïque et très biréfringente. Cette association paradoxale de pyroxènes sodiques, de grenats calciques et d'épidote est englobée par quelques grandes plages d'orthose et d'albite. Il faut signaler enfin des plages de calcite, maclées suivant b^1, renfermant de nombreuses aiguilles d'aegyrine et se distinguant bien de la calcite secondaire fibreuse qui épigénise plus ou moins complètement de nombreuses baguettes de *wollastonite* et de *pectolite*.

Dans cette roche endomorphe, résultant de la transformation d'un granite très quartzique, le quartz manque généralement d'une façon complète ; quand il existe en petite quantité, il est toujours de formation postérieure à la calcite. Assez fréquemment, la cristallisation du pyroxène a suivi, en partie, celle des feldspaths qui apparaissent alors sous forme de cristaux porphyroïdes sur un fond vert sombre.

Je donne ci-contre les analyses (Pisani), **183**) du granite à riebeckite, **184**) et **185**) de deux échantillons de syénite endomorphe de plus en plus grenatifère.

	183	184	185
SiO^2. .	70,40	47,20	42,70
Al^2O^3.	7,85	10,40	10,25
Fe^2O^3.	6,98	10,70	15,40
FeO. .	2,98	4,10	2,07
MnO. .	0,13	n. d.	0,40
MgO. .	0,52	1,05	0,83
CaO. .	0,26	17,30	22,30
Na^2O. .	4,05	1,96	0,74
K^2O. .	4,45	3,27	2,32
TiO^2. .	0,13	»	»
ZrO^2. .	1,65	1,18	1,25
CO^2. .	»	2,70	0,80
H^2O. .	0,25	0,80	1,81
	99,65	100,66	100,87

Si, pour fixer les idées, on suppose que la silice est restée constante, ce qui n'est pas rigoureusement exact, puisque la roche absorbée était silicatée, on peut estimer approximativement les conséquences chimiques de l'absorption du sédiment métamorphisé. La potasse et la zircone ont subi de minimes fluctuations ; une partie de la soude a disparu et, comme on le verra plus loin, elle a été très vraisemblablement fixée par le calcaire exomorphisé. Tous les autres éléments sont en augmen-

tation et particulièrement la chaux, le fer et, à un moindre degré, l'alumine. Si la chaux et l'alumine ont été fournies par le sédiment, le fer provient nécessairement d'émanations du magma ; cet apport magmatique en fer, par un mécanisme pneumatolytique, concorde avec l'explication qui sera donnée plus loin de la genèse d'un gisement de magnétite voisin de ce contact; le fer est une caractéristique constante des contacts de cette région, où les cornéennes sont toujours colorées en vert foncé près du granite par suite de l'existence d'un diopside ferrugineux remplaçant le diopside incolore qui existe seul à quelque distance.

Les transformations endomorphes qui viennent d'être décrites diffèrent de celles que j'ai longuement étudiées jadis au contact du granite et des calcaires paléozoïques des Pyrénées[1], car, dans ceux-ci, les minéraux métamorphiques sont des métasilicates magnésiens et des plagioclases. La pauvreté en silice du mélange n'a pas permis la production de plagioclase dans ce milieu devenu riche en chaux, l'abondance du fer a conduit au contraire à la genèse de l'andradite et d'un pyroxène ferro-alcalin calcique spécial.

La formation contemporaine de calcite et de silicates doit être comparée à celle qui a été signalée dans les syénites néphéliniques de l'Ontario, par MM. Adams et Barlow[2] dans des gisements que j'ai visités en 1913 sous la conduite de ces savants. Ces syénites néphéliniques sont intrusives dans des calcaires de Grenville et renferment, non seulement de grands cristaux de calcite, mais les minéraux (scapolite, biotite, etc.) caractéristiques des contacts exomorphes voisins. Si la calcite a pu se dissoudre, puis recristalliser en nature dans le magma qui l'avait englobée, c'est que celui-ci était originellement déficitaire en silice; dans le cas des roches malgaches, une transformation de la composition du magma a été effectuée au cours de sa mise en place ; la grande quantité de silice libre qu'il renfermait primitivement a été tout d'abord saturée par la formation des silicates calciques et c'est alors seulement que l'excès de carbonate de calcium dissous a pu recristalliser sous forme de calcite, en même temps que divers silicates. En définitive, les contacts qui viennent d'être décrits présentent, sous une forme plus compliquée par suite de l'intervention d'agents pneumatolytiques, un autre exemple de ces phénomènes d'endomorphisme, discutés page 457, au sujet du contact du granite et des schistes alumineux.

J'ai décrit ces contacts d'Ampasibitika en 1916 [149] ; depuis lors, M. Pentti Eskola a fait connaître[3] des phénomènes très analogues qu'il a observés dans la presqu'île de

1. Le granite des Pyrénées et ses phénomènes de contact, *Bull. Serv. carte géol. France*, n° 64, t. X, 1898-1899 et n° 72, t. XI, 1899-1900.

2. Frank D. Adams and Alfred Barlow, Geology of the Haliburton and Bancroft Areas. *Canada, Geol. Surv., Memoir n° 6*, 1910.

3. On the Igneous Rocks of Sviatoy Noss, in Transbaikalia. *Övers. Finska Vetenskaps. Societ. Förhandl* Helsingfors, t. LXIII, 1920-1921, Afd. A, n° 1, p. 41.

Sviatoy Noss sur la côte orientale du lac Baïkal dans une région de gneiss, renfermant des alternances de calcaires cristallins. M. Eskola a rencontré une syénite à andradite qu'il appelle *sviatonossite* ; elle est composée de microperthite, d'un plagioclase ayant de 20 à 30 pour 100 d'anorthite, d'augite aegyrinique, d'andradite, avec sphène, magnétite, apatite, calcite et des traces de biotite. L'existence, au milieu de cette roche, d'enclaves formées par un *skarn* d'andradite et de diopside, associé à un calcaire à diopside, l'a conduit à considérer cette syénite comme résultant de la dissolution de cette roche métamorphique par le magma granitique; c'est donc la théorie que j'ai exposée plus haut; il m'a été particulièrement agréable de lire dans sa discussion la phrase suivante: « The rounded fragments of andradite-skarn, so common in certain parts of the sviatonossite mass, are in favor of the latter hypothesis, as the clearly prove *that assimilation has worked on the skarn, not on the limestone*. Such an assimilation has not been restricted to some particular cases but has taken place on a large scale. »

C'est là en effet le mécanisme que j'ai proposé jadis pour expliquer les transformations endomorphes du granite des Pyrénées. Lorsqu'il y a quelque vingt-trois ans, j'ai publié mes observations sur cette question, les résultats annoncés ont été accueillis avec beaucoup de scepticisme et la possibilité même de semblables phénomènes sur une échelle assez large a été niée par un grand nombre de lithologistes. Des observations plus récentes apportent des vérifications répétées sur la réalité de phénomènes de ce genre et elles ont converti des adversaires les plus résolus de jadis[1], aussi ne me paraît-il pas inutile de rappeler quelques-unes de mes remarques anciennes[2] qui semblent avoir échappé à quelques-uns des auteurs des observations récentes.

On a objecté à la théorie de l'endomorphisme qu'elle devait être démontrée par la comparaison des analyses des diverses roches dont elle explique les relations mutuelles. Etant connue la composition chimique du granite et celle des roches sédimentaires que l'on suppose avoir été digérées par le granite, étant donnée d'autre part la composition des divers types endomorphes résultant, il devrait être possible à l'aide d'une formule de mélange de passer des unes aux autres. L'exactitude d'un semblable raisonnement implique deux postulata ; en premier lieu que la composition du granite actuel représente la composition chimique intégrale du magma dont il provient et que tous les phénomènes qu'il nous faut expliquer se soient opérés en vase clos, sans aucune réaction des parois sur le magma ; en second lieu que tous les phénomènes métamorphiques se soient effectués sans apport partiel de matière ni départ. Or on vient de voir que tous les faits d'observation plaident contre ces deux postulata. On ne peut pas admettre que

1. Dans son mémoire : *Das Fengebiet in Telemark*, auquel j'ai fait allusion page 392, M. W.-C. Brögger fait jouer à l'assimilation des calcaires par les magmas alcalins un rôle considérable. Ce mémoire me parvient au moment de la mise en pages de cette feuille, et j'ai le regret de ne pouvoir insister sur ses observations.

2. *Bull. carte géol. France*, n° 71, 1900, p. 29-30.

la composition actuelle du granite représente exactement celle du magma dont il provient[1], ni que sa mise en place se soit effectuée en vase clos.

Le problème se complique donc au point de vue chimique, puisqu'en outre des deux données fondamentales, la composition chimique du granite et celle de la roche sédimentaire normale que considèrent d'une façon exclusive les partisans des théories de différenciation [comme explication unique de tous les phénomènes], nous nous trouvons en présence d'une inconnue que nous ne pouvons déterminer quantitativement et qui consiste dans la nature et la quantité des produits volatils et transportables perdus par le *magma granitique* en se consolidant *sous forme de granite*. Nous ne pouvons apprécier cette inconnue que par le résultat de son action dans les transformations métamorphiques dont j'ai démontré à la fois l'extrême variabilité et la remarquable complexité.

Notons en terminant que la composition chimique des roches que je regarde comme formées par l'endomorphisme du magma granitique (*granites amphiboliques, diorites...*) qui ne s'expliquerait pas par un mélange de granite et de carbonate de chaux pur, peut s'interpréter facilement *en admettant que toutes ces roches endomorphes résultent de la dissolution par le magma granitique de ces roches exomorphisées, de ces calcaires rubanés, de ces grenatites, de ces cornéennes feldspathiques*, etc., que, dans les contacts de notre région, nous voyons alterner en lits minces avec des schistes de composition variée. Ces roches sont essentiellement constituées, non seulement par du carbonate de chaux magnésien, mais encore par des silicates d'alumine, de chaux, de fer et de magnésie, moins riches en silice que la plupart des éléments normaux du granite ; ils sont dépourvus d'alcalis ou en renferment beaucoup moins que ceux-ci.

Revenons maintenant à la syénite à andradite de Transbaïkalie. Les analyses de M. P. Eskola données ci-contre, *a*) du granite à augite aegyrinique, *b*) et *c*) des roches endomorphes montrent que le phénomène est moins compliqué que dans le cas malgache, qu'il n'y a pas eu d'élimination d'alcalis, d'apport de fer, mais surtout fixation de chaux.

	a	*b*	*c*
SiO^2..	71,23	58,55	58,68
Al^2O^3.	14,43	15,62	17,90
Fe^2O^3.	1,10	3,02	3,13
FeO..	0,66	2,57	1,83
MgO.	0,26	1,14	0,57
CaO..	0,97	7,34	6,75
Na^2O.	4,90	5,11	4,52
K^2O..	6,04	4,16	5,28
TiO^2..	0,36	0,92	0,67
P^2O^5.	0,07	0,49	0,19
H^2O..	0,11	0,26	0,15
MnO.	0,03	0,17	0,19
	100,16	99,35	99,86

1. « L'argument le plus saisissant que l'on puisse donner à l'appui de cette conception est celui de la lherzolite, à cause de la dissemblance chimique existant entre cette roche et les substances émanées de son magma. La lherzolite essentiellement magnésienne et à peu près entièrement dépourvue d'alcalis, est entourée d'une zone métamorphique épaisse, caractérisée par des roches entièrement silicatées, formées aux dépens de marnes calcaires liasiques et constituées par de la biotite, du dipyre, de l'orthose, de l'albite, de la tourmaline, etc., tous minéraux alcalins ou borés (Cf. A. Lacroix, *Bull. Carte géol.*, n° 42, 1894). Est-il possible de spéculer sur le magma d'où provient la lherzolite, en ne considérant que la composition chimique actuelle de cette roche et en faisant table rase de ce que nous apprend son auréole métamorphique ? »

b. — Filons complexes de granites à aegyrine et riebeckite.

α. **Filons pegmatiques.** — J'ai rencontré en assez grand nombre des filons de composition beaucoup plus compliquée que ceux qui viennent d'être décrits et qui, par leur structure, rappellent les filons mixtes d'aplites et de pegmatites. Ils sont constitués par une bordure à grain fin, dans laquelle le métasilicate prédominant ou unique est l'aegyrine et par une partie centrale, à plus gros éléments, dans laquelle s'ajoutent de grands cristaux porphyroïdes de riebeckite. Les feldspaths sont encore de l'orthose sodique, généralement automorphe, peu faculée d'albite et associée parfois à un peu d'albite indépendante. L'aegyrine forme des grains xénomorphes, en moyenne postérieurs aux feldspaths ; quand il existe un peu de riebeckite, celle-ci est plus nettement encore de formation plus récente que les feldspaths. Quant au quartz, il possède la structure granulitique ou la structure granitique dans les diverses parties d'un seul et même échantillon.

Parfois, apparaissent quelques cristaux porphyroïdes de riebeckite ayant toujours de plus petites dimensions que dans la partie axiale des filons. Dans celle-ci, cette amphibole, très allongée suivant l'axe vertical et parfois aplatie suivant h^1, peut atteindre 5 à 6 centimètres et ses cristaux sont tantôt distribués sans ordre et tantôt implantés perpendiculairement au contact avec la roche à grain fin, contact qui est toujours brusque et net. L'aegyrine forme aussi des cristaux plus gros que sur les bords qui peuvent être nettement ophitiques par rapport aux feldspaths.

Le zircon est fort abondant, en cristaux déchiquetés limpides, groupés pour former des squelettes de grands cristaux au milieu du quartz ; ces agrégats ont des formes globuleuses et il me paraît assez vraisemblable qu'ils représentent des pseudomorphoses d'eucolite, comparables à celles qui vont être décrites plus loin. Il me reste à signaler l'existence d'un minéral brun foncé, très réfringent, très polychroïque, qui paraît être identique à celui, de nature indéterminée, qui se trouve dans les sanidinites de l'île San Miguel aux Açores ; il existe enfin des octaèdres jaune d'or de microlite.

β. **Fasibitikite.** — J'ai donné ce nom [147] à une roche à grain fin, constituant, dans les calcaires d'Ampasibitika, des filons dont l'épaisseur dépasse rarement quelques décimètres ; je vais compléter et préciser la description que j'en ai donnée antérieurement.

La caractéristique de la fasibitikite est de constituer des filons hétérogènes, possédant un facies lujavritique, dû à l'abondance de fines aiguilles d'aegyrine. Ce minéral est généralement orienté, comme dans la lujavrite, roche du groupe des syénites néphéliniques, mais ici l'orientation a lieu, en gros, parallèlement aux épontes des filons ; il ne s'agit pas en effet d'un parallélisme rigoureux, mais d'un rubanement à la façon de celui des roches à lépidolite d'Ambazac (Cf. page 353), des aplites grenatifères des filons complexes de pegmatites de Californie (Cf. page 345), et des syénites néphéliniques à låvénite et aegyrine de Rofaré dans l'île de Tamara (Archipel de Los). L'aegyrine jalonne des zones sinueuses, hétérogènes au point de vue de la composition minéralogique, du grain et de la structure.

Des zones surtout quartziques et feldspathiques sont à plus gros grain que d'autres, dans lesquelles abonde l'aegyrine. Il arrive que parfois, les éléments blancs se concentrent, non plus sous forme de bandes, mais à l'état de nodules, de taches irrégulières ; ce sont des sortes d'aplites sans continuité ; des cristaux brunâtres de zircon sont parfois très abondants.

A cette complexité minéralogique, viennent s'ajouter des variations dans la nature des feldspaths ; ici ils sont constitués partiellement par de l'orthose faculée d'albite, là par de l'albite presque seule. C'est une conséquence des variations dans le rapport des alcalis, mise en évidence par les analyses données plus loin.

Aux minéraux qui viennent d'être énumérés, il faut ajouter parfois des grains (rose chair) d'un minéral du groupe de l'eudialyte (eucolite) dont l'analyse a été donnée page 590 du tome I.

Enfin, il me faut signaler des filons plus compliqués encore, dans lesquels les zones sont alternativement vertes, jaunâtres, rosées, ou d'un bleu sombre, suivant qu'y prédominent l'aegyrine, les feldspaths, le quartz et l'eucolite ou enfin la riebeckite. Cette association rappelle, en petit, les variétés blanches, rouges et noires de la *kakortokite* [1] de Kringlerne (Kangerdluarsuk, au Groenland), dans lesquelles la coloration de lits, alternant entre eux, est due respectivement à la prédominance de feldspaths et de néphéline, d'eudialyte ou d'arfvedsonite.

Au microscope, l'on constate qu'à l'inverse de tout ce qui a été observé dans les roches précédentes, l'aegyrine est automorphe et que ses longues aiguilles sont de formation antérieure à tous les autres minéraux. C'est la caractéristique du

1. N.-V. Ussing, Geology of the country around Julianehaab, Greenland, *Meddel. om Greenland*, Copenhagen, t. XXXVIII, 1911, p. 177.

facies lujavritique et, à ce point de vue, les relations existant entre la fasibitikite et les autres granites à aegyrine sont du même ordre que celles que j'ai signalées entre le facies lujavritique des enclaves des syénites néphéliniques de l'île de Rouma (Los) et ces syénites elles-mêmes. Il arrive que, par places, ces aiguilles d'aegyrine, mélangées seulement à quelques grains d'eucolite d'un rose chair, présentent comme une sorte d'arrangement fluidal.

Quand le feldspath est constitué par de l'orthose sodique, ses cristaux, de petite taille, sont isométriques et automorphes s'ils sont entourés par le quartz. En moyenne, l'association quartz-feldspath qui englobe l'aegyrine (vert et jaune) est granulitique. Quant à l'albite, là où elle existe seule, elle est lamelleuse suivant g^1.

L'eucolite forme des cristaux globuleux ; ils sont surtout nombreux quand prédomine l'albite. Le zircon est localement très abondant et il se présente sous deux formes, en grands cristaux qui moulent les feldspaths et en agrégats constituant des pseudomorphoses d'un minéral disparu ; comme le zircon n'accompagne généralement pas cette eucolite, l'on peut supposer que c'est cette dernière substance qui a constitué le minéral détruit.

Il ne me reste plus qu'à m'occuper des lits amphiboliques ; l'eucolite y est très abondante, en cristaux de 1 à 2 millimètres ; elle est surtout concentrée dans les lits riches en quartz. La riebeckite n'est pas aciculaire comme l'aegyrine ; elle forme de petits grains discoïdes rappelant, par leur forme, le mica des schistes micacés des contacts granitiques. C'est ce qui m'avait fait penser jadis qu'il s'agissait d'une roche métamorphique, avant que j'aie moi-même recueilli ces roches en filons coupant les assises liasiques. Dans quelques cas, ces roches à riebeckite forment dans le type à aegyrine non pas des zones continues, mais des masses irrégulières simulant les enclaves.

Je donne ci-contre une série d'analyses des diverses portions de plusieurs filons [M. Raoult, sauf 186, 187, 193, 194, 196 (Pisani)] ; je considère tout d'abord les portions orthosiques et ensuite les zones albitiques ; on remarquera que dans les *analyses* **186** à **188** la potasse prédomine sur la soude, et que l'inverse a lieu dans les autres variétés. La teneur élevée en zircone et en terres cériques a pour conséquence la présence de l'eucolite.

Phase orthosique. — **186**) Aplite à zircon, I.4'.1.3 ; **187**) (veine feldspathique dans **189**) ; **189**) I'.3.1'.4 ; **190**) I(II).(3)4.1.4(5) ; *Phase albitique.* — **191**) I'.3.1'.'4 ; **192**)) I(II).(3)4.1.4(5) ; **193**) II.3,1.4(5) ; **194**) II'.3.1.4 ; **195**) II'.(3)(4).1.'5 ; **196**) variété amphibolique, **197**) II(III).(3)4.1.4.

	186	187	188	189	190
SiO^2	69,30	70,85	70,25	71,59	70,80
Al^2O^3	15,02	9,97	8,75	9,77	8,17
Fe^2O^3	0,74	5,00	7,90	8,91	8,91
FeO	0,52	1,17	1,62	1,21	1,21
MnO	»	0,12	0,13	0,11	0,11
MgO	1,14	0,25	0,65	0,11	0,07
CaO	»	»	0,51	0,50	0,58
Na^2O	4,20	3,98	3,82	3,71	4,55
K^2O	6,60	4,68	4,12	2,69	3,91
TiO^2	»	0,06	0,06	0,26	0,26
ZrO^2	2,27	3,48	0,78	0,44	0,69
Ce^2O^3	»				0,22
P^2O^5	»	»	0,12	»	»
Nb^2O^5	»	»	»	»	»
H^2O	0,71	0,50	0,75	0,75	0,75 / »
	100,50	100,06	99,46	100,05	100,23

	191	192	193	194	195	196	197
SiO^2	70,97	70,62	70,80	70,50	68,00	66,40	65,60
Al^2O^3	8,88	10,05	6,90	6,52	7,74	7,50	9,15
Fe^2O^3	8,65	8,65	4,44	6,40	8,18	4,59	6,40
FeO	0,83	0,83	1,00	0,63	0,64	6,22	3,70
MnO	0,13	0,13	3,10	tr.	0,37	0,60	0,51
MgO	0,07	0,07	0,96	1,30	0,93	0,70	0,64
CaO	0,66	0,46	3,20	3,65	1,90	1,10	1,10
Na^2O	6,17	6,02	6,10	5,70	7,47	7,30	7,45
K^2O	1,86	1,75	0,90	1,88	0,94	1,90	1,17
TiO^2	0,25	0,25	0,30	0,26	0,41	0,20	0,19
ZrO^2	0,59	0,34	0,65	1,58	2,32		
Ce^2O^3	0,15	»	0,40	0,80	0,68	1,90	3,10
P^2O^5	»	»	»	»	»	1,30	
Nb^2O^5	»	» / n. d.	tr.	tr.	»	tr.	»
H^2O +	0,75	0,75	n. d.	n. d.	0,43	n. d.	0,62
—	0,05	0,05	1,82	1,00	0,28	0,62	
	100,01	99,97	100,47	100,22	100,29	100,33	99,63

L'association dans un même filon, — grâce à des phénomènes de différenciation — de portions très feldspathiques et d'autres, riches en aegyrine, et aussi de parties sodo-potassiques, associées à d'autres, persodiques, qui caractérise la fasibitikite n'est pas spéciale à Madagascar. J'ai rencontré en effet les mêmes particularités dans des filons à grain fin, de quelques centimètres d'épaisseur, qui traversent le granite à riebeckite d'Ota, près Evisa, en Corse, mais, dans les échantillons, que je dois à M. Orcel, l'importance relative des deux phases est inverse de ce qui a été décrit plus haut ; la plus grande partie du filon est la plus feldspathique ; le minéral coloré dominant est la riebeckite, la portion riche en aiguilles d'aegyrine

forme des taches au milieu d'elle. La première (A) a pour paramètres 'II.3'.1.3 ; la seconde (B) 'II.(3)4.1,(4)(5).

	A	B	C	D
SiO^2	75,32	73,31	77,31	69,08
Al^2O^3	9,32	10,25	13,09	15,13
Fe^2O^3	3,84	6,32	1,56	2,71
FeO	1,14	1,01	1,71	1,67
MgO	0,38	0,21	0,11	0,35
CaO	0,68	0,84	0,52	1,32
K^2O	4,16	6,92	5,42	8,89
Na^2O	4,61	1,11	0,43	0,71
TiO^2	»	»	»	»
P^2O^5	0,04	»	»	»
H^2O +	»	0,14	»	0,27
—	0,12	0,02	»	0,14
MnO	0,23	0,13	»	0,04
	99,84	100,26	100,15	100,31

Cette différence dans le rapport des alcalis des portions de roches provenant d'un même filon, n'est pas spéciale aux roches à aegyrine ; j'en ai déjà donné deux exemples empruntés à des gisements français et dans des types de pegmatites fort différentes au point de vue minéralogique.

Je ferai remarquer, en passant, que ce type persodique de granite est réalisé dans l'aplite à albite feuilletée qui accompagne le granite à riebeckite de San Peter's Dome (Colorado)[1]. C) et D) (M. Raoult) (C) I.3.1'.5 et D) I'.4(5).1.5). Je n'ai pas d'analyse du granite pegmatique lui-même, mais sa richesse en grands cristaux de microcline ne laisse pas de doute sur l'abondance de la potasse.

Comparaison de la fasibitikite et de la rockallite. — Lorsqu'en 1903, j'ai publié la première analyse de la roche qui m'occupe ici [131], puis lorsqu'en 1916, j'ai proposé [147] de la désigner sous le nom de *fasibitikite*[2], je l'ai comparée à la *rockallite*.

Celle-ci, provenant de l'îlot de Rockall, perdu dans le Nord Atlantique, a été décrite par Judd[3] comme constituant sans doute un sill dans un tuf volcanique. Elle a été caractérisée par l'association mésocrate d'aegyrine à de l'albite et à du quartz. L'analyse chimique a montré l'absence presque complète de potasse et une grande richesse en soude, avec une proportion notable de zircone et de terres cériques. M. Washington, qui a mis en évidence ces dernières[4], a émis l'hypothèse qu'elles entrent dans la composition du pyroxène. J'ai fait remarquer alors [147] qu'elles proviennent peut-être plutôt d'un minéral du groupe de l'eudialyte, non encore observé.

1. A. Lacroix, *C. Rendus*, t. CIX, 1889, p. 39.
2. Par contraction du nom d'Ampasibitika, nom Sakalava se décomposant ainsi : *Any*, là où, *fasy*, du sable, *bitika*, menu.
3. *The Transact. of the Royal Irish Academy*, t XXXI, Part. III, 1897.
4. The composition of rockallite, *Quaterl. J. geol. Soc.*, t. LXX, 1914, p. 294.

Tout récemment, le Dr Charcot étant parvenu à débarquer sur Rockall y a recueilli des échantillons dont l'étude m'a permis d'éclairer cette question [1] et rend aujourd'hui possible la discussion des relations existant entre la rockallite et la fasibitikite.

Contrairement à ce qu'on avait pu penser jusqu'alors, la roche décrite par Judd et Washington ne constitue pas entièrement l'îlot de Rockall ; celui-ci est essentiellement formé par un granite à aegyrine, très hétérogène, renfermant des portions leucocrates et d'autres, à gros grain, de plus en plus riches en aegyrine et en riebeckite ; bien loin d'être dépourvues de potasse et de ne renfermer que de l'albite, en fait de feldspath, ce granite est, par places, aussi potassique que sodique et dans tous les cas contient plus de 2 pour 100 de potasse : le microcline (avec seulement macles de l'albite) y est constant et souvent prédominant sur l'albite. Quant à la roche appelée rockallite, elle constitue dans ce granite de grosses enclaves à grain fin ne différant de la roche normale que par sa structure et par la brusque réduction de la potasse.

Enfin, tous ces types pétrographiques, quels qu'ils soient, doivent leur teneur en zircone et en terres rares à l'existence de pseudomorphoses en *elpidite* ($Si^6ZrO^{18}Na^2H^6$) d'un minéral zirconifère disparu ; il n'est pas douteux, d'après la forme globuleuse de celui-ci, que l'hypothèse jadis formulée par moi (existence antérieure d'eudialyte) ne soit exacte.

Je donne ci-contre, les analyses (M. Raoult) effectuées sur les divers types de roches de Rockall que j'ai étudiées.

	A	B	C	D	E	F	G	*a*
SiO^2. . . .	70,48	68,61.	66,62	59,18	63,26	67,38	68,04	69,80
Al^2O^3. . .	8,84	9,24	11,96	9,21	5,24	4,71	5,78	5,10
Fe^2O^3. . .	5,91	6,91	4,19	8,86	14,68	14,39	13,19	13,23
FeO.	2,53	3,42	3,54	5,95	4,81	1,51	1,02	0,78
MnO.. . .	»	0,11	0,10	»	0,17	0,18	0,07	0,12
MgO.. . .	0,39	0,18	0,31	0,76	0,07	0,08	0,11	0,11
CaO. . . .	0,46	0,22	1,32	2,22	0,90	1,38	0,56	0,72
Na^2O.. . .	4,29	5,62	6,20	7,33	6,17	6,06	7,56	8,04
K^2O. . . .	4,75	4,29	4,06	3,97	2,62	2,30	0,84	0,22
TiO^2.. . .	0,27	0,41	0,79	1,17	0,81	0,70	0,82	0,34
ZrO^2.. . .	0,82	0,56	0,38	»	0,46	0,86	0,66	1,17
P^2O^5.. . .	0,05	0,04	0,21	0,31	0,17	0,05	0,12	0,07
X [2]. . . .	0,27	0,16	0,18	»	0,12	0,16	0,38	0,37 (Ce^2O^3)
H^2O + .. .	0,82	0,24	0,22	0,71	0,53	0,33	0,89	0,46
— .. .	0,11	0,34	0,08	0,20	0,25	0,20	0,20	0,31
	99,99	100,35	100,16	99,87	100,26	100,29	100,29 [3]	100,84
$\frac{K^2O}{Na^2O}$.. . .	0,75	0,51	0,44	0,42	0,28	0,24	0,07	0,01

1. *C. Rendus*, t. CLXIII, 1921, p. 267.
2. Terres rares, non encore étudiées, parmi lesquelles paraît dominer Y^2O^3.
3. Y compris NiO 0,05.

A) Veine blanche, II.(3)4.1.3'; B) *Granite à aegyrine* (type moyen), II.'4.1.(3)4; C) *Idem* (sondage à 10 milles au Nord de Rockall), II.4.1.4; D) *Enclave à augite aegyrinique,* III.'5.1.4; E) *Granite à aegyrine* (type mélanocrate), III.3.1.4; F) *Idem,* 'III.'3.1.4; G) *Rockallite,* II(III).3.1.'5; *a*) *Idem,* 'III.3.1.5 (Washington).

On voit en définitive que, dans leur ensemble, les roches de Rockall ont une grande parenté avec les granites à aegyrine de Madagascar; elles sont seulement en moyenne un peu plus riches en alcalis et en fer ferrique, ce qui entraîne une proportion plus grande d'aegyrine. Au point de vue chimique, la rockallite, telle qu'elle a été définie par Judd, joue vis-à-vis des granites à aegyrine constituant la partie essentielle de l'îlot, le même rôle que les zones albitiques de la fasibitikite. Il serait peut-être logique de désigner sous le nom de rockallite ce complexe hétérogène de granites à aegyrine, inclinant vers des types mésocrates ou de granites franchement mésocrates et devenant alors persodiques. La différence avec la fasibitikite ne réside guère que dans la structure, qui est franchement grenue dans les roches de Rockall, alors que les fasibitikites constituent des roches rubanées à grain fin, possédant le caractère structural des lujavrites. Mais il me paraît intéressant de mettre en évidence parmi ces roches l'existence de l'équivalent à la fois minéralogique et structural des lujavrites dans la série des syénites néphéliniques. C'est pourquoi je ne saurais me rallier à l'opinion exprimée par M. G.-V. Tyrrell qui, dans un article intéressant, consacré à la nomenclature pétrographique, où il combat l'emploi des noms univoques d'origine géographique pour désigner les roches, a déclaré qu'il est naturel de préférer le nom de riebeckite-aegyrine-granite à celui de fasibitikite ; j'espère que la lecture des pages qui précèdent ne laissera aucun doute sur la confusion qu'entraînerait dans la nomenclature des roches granitiques à aegyrine une semblable conclusion.

Je donne ci-contre, une série d'analyses montrant la composition des termes de cette série lujavritique parmi les granites, les syénites, les syénites néphéliniques; j'ai choisi les termes les plus sodiques, car là. comme dans la fasibitikite, la forme aciculaire de l'aegyrine n'a pas comme condition nécessaire la prédominance de la soude sur la potasse.

Série granitique : Fasibitikite (phase sodique), [**193**]) II.3.1.4(5); [**196**] II(III).(3)4.1.4;

Série syénitique (*néphélinifère*), *a*) Ségrégation dans syénite néphélinique, Rouma (Los), 'II.5.1.5 (Raoult, *in* A. Lacroix);

Série syénite néphélinique, b) *Lujavrite,* Tupersuatsiak (Groenland) (C. Winther, *in* Ussing, *op. cit.*, p. 168) II(III).6(7).1.4; *c*) *Lujavrite à arfvedsonite,* Lille Elv, Kangerdluarsuk (*Idem,* p. 175); *d*) *Lujavrite,* Tsutsknjun (Lujavr-Urt, Kola),

II.6'.1.4 (W. Petersson, *in* Ramsay, *Fennia*, t. XV, n° 2, 1899, p. 16); *e*) Tusschenkomst, Pilandsberg (Transvaal) (Pisani, *in* Brouwer, *C. Rendus*, t. CXLIX, 1909, p. 1008), III.6.1.4.

	[193]	[196]	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*
SiO^2	70,80	66,40	57,76	53,44	53,01	53,68	51,35
Al^2O^3	6,90	7,50	15,67	18,64	15,33	18,42	11,45
Fe^2O^3	4,44	4,59	5,86	9,38	9,14	5,91	9,40
FeO	1,00	6,22	0,94	0,86	4,44	2,57	2,41
MnO	3,10	0,60	2,75	0,10	0,13	0,75	1,25
MgO	0,96	0,70	1,08	»	0,10	0,88	0,54
CaO	3,20	1,10	1,70	0,79	0,67	2,05	3,27
Na^2O	5,10	7,30	9,58	12,10	11,86	9,46	10,80
K^2O	0,90	1,90	0,70	2,43	2,60	4,92	2,52
TiO^2	0,30	0,20	0,20	0,30	0,33	»	2,75
H^2O +	1,92	0,62	1,77	1,12	1,88	0,89	3,20
—			0,13	0,34	0,20		
ZrO^2	0,65	1,90	1,38	1,00	0,65	1,35	0,54
X	0,40	1,30	»	»	»	»	»
	99,67	100,33	100,31[1]	100,62[2]	100,57[3]	100,88	99,48

d. — Grorudites.

Parmi les filons traversant les gneiss d'Antsiatsia, sur le haut Bemarivo du Nord-Est, se trouve une roche très intéressante, à grain fin, d'un vert clair. Elle est essentiellement constituée par l'enchevêtrement de cristaux nets (p, g, $a^{1/2}$ dominants), de deux tailles différentes, d'orthose sodique faculée d'albite; ils sont accompagnés de nombreuses et très fines aiguilles d'aegyrine, souvent accolées sur leurs faces, mais non pas englobées par eux. Il existe de nombreuses cavités miarolitiques; les unes sont vides, les autres remplies par du quartz; celui-ci est inégalement réparti et n'est pas très abondant, aussi la roche évolue-t-elle vers les sölvsbergites quartzifères (*analyse* **198**). Il est à noter que ces roches accompagnent des trachytes à aegyrine; je dois l'échantillon étudié à M. Perrier de la Bathie; la région dont ils proviennent serait à explorer.

Grorudites à riebeckite. — J'ai observé dans les environs d'Ampasibitika un filon mince d'une roche à grain très fin, uniformément colorée en bleu lavande. Quelques phénocristaux d'orthose sodique faculée et de riebeckite ne sont visibles

1. Y compris Cl 0,44; F 0,35.
2. Y compris Cl 0,12.
3. Y compris Cl 0,23.

qu'au microscope ; la roche est presque exclusivement constituée par un feutrage de très fines aiguilles de riebeckite enveloppées par une pâte de quartz et d'orthose à structure microgranitique (*analyse* **199**).

Je donne ci-contre, une série d'analyses de grorudites de divers gisements ; on voit que celle d'Antsiatsia présente particulièrement des analogies avec celle de Kallerud, en Norvège.

La *dahamite* est une grorudite riche en albite qui, par la présence de la riebeckite, est à rapprocher de la roche d'Ampasibitika. La substitution de la riebeckite à l'aegyrine est une conséquence de la teneur plus élevée en fer ferreux.

Grorudites, **198**) Antsiatsia I(II).4'.1,4 (Raoult) ; **199**) (à riebeckite), Ampasibitika, I(II).3(4).1.3(4) (Pisani) ; *a*) (arfvedsonite), Frön (Norvège), I(II).4'.1.3' (V. Schmelck, *in* Brögger. *Eruptiv. Gestein. Kristiania,* t. I. 1894, p. 139) ; *b*) Rapides de Mungo (Cameroun), I(II).4.1.3' (A. Lindner, *in* A. Hintze, *Jahrb. preuss. Gesells. Anst.*, t. XXVIII, 1910, p. 340) ; *c*) Varingskolen (Norvège), 'II.3'.1.3 (G. Särnström, *in* Brögger, *Zeitsch. f. Krist.*, t. XVI, 1890, p. 66) ; *d*) Grussletten (Norvège), II.4.1.3 (L. Schmelck, *in* Brögger, *op. cit.*, 1894, p. 56) ; *e*) Kallerud (Norvège), I(II).4.1.'4 (L. et V. Schmelck, *in* Brögger, *Ibid.*) ; *f*) *Dahamite,* Dahamis (Ile Sokotra), I.(3)4.1'.4 (E. Ludwig, *in* A. Pelikan, *Denksch. Akad. Wissensch. Wien.*, t. LXXI, 1902, p. 78).

	198	**199**	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*	
SiO^2	67,66	72,00	68,95	73,02	74,35	66,50	71,35	74,02
Al^2O^3	13,53	10,40	14,00	11,50	8,73	10,90	12,21	13,56
Fe^2O^3	5,38	4,75	2,12	1,98	5,84	9,85	4,53	1,93
FeO	1,22	2,30	3,56	2,31	1,00	2,34	1,14	1,09
MgO	0,06	0,78	0,07	0,11	0,07	0,60	tr.	0,23
CaO	0,72	0,52	0,23	0,34	0,45	0,64	0,22	0,56
Na^2O	6,77	4,71	5,45	4,85	4,51	5,56	6,51	5,80
K^2O	3,99	3,80	5,29	4,64	3,96	4,54	3,22	2,06
TiO^2	0,58	0,22	0,35	0,57	»	tr.	0,50	»
P^2O^5	»	0,39	»	0,14	»	0,10	»	»
H^2O +	0,37	0,75	0,05	0,59	0,25	0,20	0,33	1,05
—	»	»						
MnO	0,06	»	0,55	»	0,22	»	0,78	»
	100,34	100,62	100,62	100,05	99,38	101,23	100,79	100,30

e. — **Microgranites à riebeckite et aegyrine.**

Les granites alcalins et les sédiments voisins du massif d'Antsatrotro et de la région d'Ampasibitika sont traversés par des filons de roches à grain fin, renfer-

mant des cristaux porphyriques d'orthose faculée de 2 à 3 millimètres et plus rarement d'aegyrine, disséminés dans une pâte microgranulitique, microgranitique ou micropegmatique.

Dans le massif d'Antsatrotro (ravin d'Antsahalava), ces microgranites sont blancs ou jaunâtres; l'aegyrine domine parmi les éléments colorés; de petits nodules constitués par elle et par un peu d'une amphibole arfvedsonitique sont probablement des pseudomorphoses d'une amphibole disparue. Une variété de ce type provenant de Bekolosy (ravin d'Anabotohaka) a une pâte plus fine, en partie micropegmatique; il existe de l'albite et de la riebeckite.

Dans la région d'Ampasibitika, les microgranites sont colorés en gris bleuâtre plus ou moins foncé, par suite de l'association de la riebeckite à l'aegyrine; l'orthose faculée de la pâte présente souvent des formes rectangulaires, moulées par du quartz, et aussi par la riebeckite ou par l'aegyrine qui, çà et là, sont orientées sur de petits phénocristaux des mêmes minéraux.

Enfin, je signalerai un filon rubané renfermant des veines à grain très fin, dépourvues de phénocristaux et d'autres, à grain plus gros, dans lesquelles il existe des phénocristaux de feldspaths alcalins. Suivant les portions de la roche, c'est l'aegyrine ou la riebeckite qui prédomine. Il est à noter qu'aucun des microgranites qui viennent d'être décrits ne renferme de phénocristaux de quartz.

Les analyses (M. Raoult) **200**) d'un *microgranite à aegyrine* d'Antsatrotro (Antsahabe), I.4.1.'4; **201**) d'un *microgranite à riebeckite et aegyrine* d'Ampasibitika, 'II.4.1.'4 montrent que leur composition ne diffère pas de celle de certains granites à aegyrine.

	200	201
SiO^2	70,47	68,32
Al^2O^3	14,49	12,28
Fe^2O^3	3,40	3,92
FeO	0,33	2,79
MgO	0,16	0,11
CaO	0,52	0,48
Na^2O	5,32	5,73
K^2O	4,00	4,54
TiO^2	0,35	0,39
P^2O^5	0,13	tr.
H^2O +	0,39	0,95
—	0,07	0,04
	99,63	99,96[1]

1. Y compris MnO 0,09; ZrO^2 0,32.

B. — *Granites sans métasilicates ferro-sodiques.*

a. — Granite à hornblende.

Je ne connais dans la région sédimentaire qu'un seul exemple d'un granite renfermant une quantité notable de plagioclases ; il s'agit d'une roche qui joue un certain rôle dans la presqu'île de Lokobe, à Nosy Be, sur le versant regardant Ambanoro et sur le versant Nord, vers Ambatozavavy.

Ce granite, à gros grain, partage avec ceux qui ont été décrits plus haut, la particularité d'être localement miarolitique. La teneur en quartz est variable, mais par places, elle n'est pas élevée, aussi cette roche se trouve-t-elle à la limite des granites et des syénites. Du plagioclase, constitué par de l'oligoclase-albite, en cristaux automorphes, maclés suivant les lois de l'albite, de Carlsbad et de la péricline, est accompagné d'orthose faculée d'albite, maclée suivant la loi de Carlsbad. Les éléments colorés, peu abondants, sont constitués par de la biotite et surtout par une hornblende brune, verdissant sur les bords ; elle est en partie de formation postérieure aux éléments blancs. A signaler enfin, un peu de sphène et beaucoup de zircon. Sur le bord de la mer, ce granite renferme des enclaves micacées à caractère monzonitique et d'autres, presque hololeucocrates, à peu près uniquement feldspathiques et quartziques, véritables aplites dont le feldspath uniquement alcalin est automorphe et le quartz granulitique.

L'*analyse* **202**), due à Pisani, conduit à la formule I'.4(5).2.3 ; c'est celle d'un granite monzonitique.

	202
SiO^2	63,92
Al^2O^3	16,59
Fe^2O^3	1,05
FeO	3,29
MgO	0,54
CaO	2,34
Na^2O	3,81
K^2O	5,97
TiO^2	0,70
P^2O^5	0,23
H^2O +	1,75
—	0,24
	100,43

J'ai eu en mains un granite porphyroïde à biotite, analogue à ceux du Massif cristallin, il a été recueilli jadis non en place par Villiaume dans la baie d'Ambaliha ; je n'ai aucune donnée sur la nature de son gisement.

b. — Microgranites.

α. **Microgranites alcalins.** — Dans le Nord-Est de Nosy Be, dans la vallée de l'Andriana, les assises liasiques sont traversées par des dykes d'un microgranite à gros grain, blanc, qui peut être considéré comme un passage aux *aplites*. Cette roche est formée d'orthose sodique et de quartz, sa structure est franchement microgrenue. Par contre, les filons d'un beau blanc tacheté de rouille, qui traversent les mêmes sédiments sur le pourtour de Nosy Komba et au voisinage de Lokobe, sont caractérisés par une texture compacte et par l'aplatissement des feldspaths (orthose sodique faculée d'anorthose) qui leur donne un aspect trachytique; ce sont des *bostonites quartziques*. Aux environs d'Ampangorinana, ces filons atteignent trois mètres d'épaisseur (*analyse* **206**) ; l'examen microscopique n'y montre, en outre du quartz et du feldspath, qu'un peu de biotite, de pyroxène et de fluorine.

J'ai observé, près d'Ankaramy, dans les grès liasiques, des filons de la même roche, mais elle est riche en phénocristaux de quartz auréolé.

Dans l'Androy [Est de Betrandraka, à l'Est d'Imanombo ; chaîne longeant la route de Lempokento, à Tsitevempeko et de ce point à Antanimora (mont Vohipotsy)], il existe des microgranites à grain fin (dômes superficiels?), ayant l'aspect extérieur de grès et qui sont exclusivement constitués par des plages de micropegmatite d'orthose (avec un peu d'albite) et de quartz.

Au milieu des sédiments de l'Ouest, se rencontrent des microgranites qui diffèrent des précédents par l'existence de phénocristaux d'orthose sodique faculée d'albite et de quartz. La pâte est microgrenue ou microgranulitique, avec formes nettes des cristaux d'orthose (Kizamahatako, quelques paillettes de biotite (*analyse* **204**); dans d'autres cas, le feldspath forme de très gros sphérolites moulés par du quartz (Betandroka, sur la rivière Ambalabao). Ces microgranites renferment d'ordinaire un peu de zircon.

β. **Microgranites monzonitiques et microgranodiorites.** — Ces microgranites se distinguent des précédents par l'existence de phénocristaux de plagioclases (oligoclase à andésine) qui accompagnent ou remplacent ceux d'orthose.

Dans la région sédimentaire de l'Ouest, les types que j'ai étudiés ne renferment qu'une quantité modérée de plagioclases ; ils établissent le passage des microgranites alcalins à ceux que nous allons trouver plus loin dans l'Androy. Au Fonjay, existe (filon) un microgranite riche en phénocristaux de quartz, tandis que ceux-ci manquent dans la roche qui constitue le dôme de

l'Ambohipisaka. Dans le fond d'une vallée creusée dans l'Ambohitrosy, une variété à pâte micropegmatique renferme d'assez nombreuses paillettes de biotite (*analyse* **205**).

Les microgranites monzonitiques paraissent abondants dans l'Androy ; quelques types sont assez riches en plagioclases pour qu'on puisse les considérer comme des microgranodiorites. Ces roches me paraissent constituer des dômes. Dans la région de Tamotamo, une variété est riche en phénocristaux d'andésine qui sont entourés par de grandes palmes d'orthose se terminant à leur extrémité libre par une micropegmatite, qui forme aussi des plages indépendantes (*analyse* **210**). Cette roche est une micropegmatite à étoilement, dépourvue de phénocristaux de quartz.

Une roche recueillie dans la rivière Andramasy, au Sud-Ouest de Tsivory, est finement grenue ; ses phénocristaux d'andésine sont moulés par de l'augite et de la *fayalite*, dépourvues de formes géométriques. Ces minéraux sont enveloppés dans de grandes plages d'une micropegmatite d'orthose et de quartz. C'est le seul exemple que je connaisse de l'association de la fayalite et du quartz dans une roche de ce genre ; cette roche est l'équivalent microgrenu de la dellénite à fayalite qui sera décrite dans le tome III (*analyse* **209**).

Un autre type, non moins curieux, provient de Vohitany, près Tamotamo et aussi d'entre Imanombo et Betrandraka, du Nord d'Ikonda (*analyse* **208**) ; c'est une roche semblant, à l'œil nu, avoir un grain uniforme, mais qui est, en réalité, formée par des phénocristaux d'andésine, englobés dans de grandes plages de micropegmatite de quartz et d'orthose de mêmes dimensions qu'eux ; il existe un peu de magnétite, d'augite et de hornblende d'un brun verdâtre. La composition chimique de cette roche (*analyse* **209**) en fait une microgranodiorite, tandis que d'autres provenant d'Ikonda, sont un peu moins riches en plagioclases. Dans ce dernier gisement et aussi à Vohimasy, entre Ifotaka et Tsitevempeko, la structure porphyrique devient plus distincte.

Un type analogue se rencontre au Nord-Ouest de Morafenobe, à l'extrémité de l'Andriarata.

Les analyses suivantes montrent qu'à l'exception de la roche de Nosy Komba, tous les microgranites qui viennent d'être décrits, qu'ils soient alcalins ou calco-alcalins, renferment plus de potasse que de soude.

Les analyses suivantes ont été effectuées : **203** à **205** par Boiteau, **206** par Pisani, les autres par M. Raoult.

Microgranites alcalins. — **203**) Tsivory, I.3.1.3 ; **204**) Kizamahatako, I.4.1.3 ; **205**) Ambohitrosy, I.4.'2.3 ; **206**) Ampangorinana (Bostonite quartzique), I.'4.1.(3)4.

Microgranites monzonitiques. — **207**) Vohitany, I.3′.2.3 ; **208**) Nord d'Ikonda, I(II).4.2.3 ; **209**) Andramasy, I(II).′4.2.3′ ; **210**) *Microgranodiorite*, Tamotamo, I(II).(3)4.2(3).3′.

	203	204	205	206	207	208	209	210
SiO^2.. . . .	75,70	71,75	71,80	73,50	73,50	67,00	69,13	68,28
Al^2O^3. . . .	11,65	13,04	15,21	15,35	13,33	13,15	12,90	13,15
Fe^2O^3. . . .	2,27	2,24	1,90	0,76	2,22	2,29	1,54	3,42
FeO.. . . .	0,33	0,47	0,96	»	1,31	4,92	4,00	3,50
MgO. . . .	0,07	0,44	0,11	0,76	0,14	0,47	0,45	0,50
CaO.. . . .	0,40	0,74	1,40	»	1,90	2,84	2,86	3,05
Na^2O. . . .	2,79	3,52	3,01	4,69	2,75	3,12	3,34	3,00
K^2O.. . . .	4,36	5,35	5,07	3,88	3,60	4,03	3,76	3,27
TiO^2.. . . .	0,57	1,18	0,35	0,06	0,55	0,78	1,06	0,68
P^2O^5. . . .	0,13	0,23	0,08	»	0,08	0,12	0,21	0,15
H^2O + . . .	1,26	0,47	0,30	1,20	0,54	1,22	0,41	0,94
— . . .	0,27	0,27	0,05		0,27	0,15	0,18	0,09
MnO. . . .	»	»	»	»	»	0,19	»	0,20
	99,80	99,70	100,24	100,20	100,19	100,28	99,84	100,23

CHAPITRE II

SYÉNITES ET SYÉNITES NÉPHÉLINIQUES

I. — SYÉNITES

Les roches de cette famille sont exclusivement ou essentiellement constituées par un feldspath alcalin, orthose sodique ou anorthose, souvent associé en microperthite avec de l'albite, avec ou sans albite indépendante. A l'inverse de ce qui a lieu pour les syénites du Massif cristallin, celles de la région sédimentaire ne renferment jamais de microcline. Les minéraux colorés n'y jouent d'ordinaire qu'un rôle subordonné ; ce sont donc des roches de couleur très claire.

Au point de vue chimique, ces syénites sont riches en alcalis, les unes avec potasse, les autres avec soude prédominante, sans que cette prédominance soit jamais très marquée ; en moyenne, elles sont donc sodi-potassiques.

Il existe des types à excès de silice qui passent aux granites et d'autres présentant un léger déficit de silice, qui permet l'apparition d'une petite quantité de feldspathoïdes : ces variétés *néphélinifères* établissent le passage aux syénites *néphéliniques* qui font l'objet du paragraphe suivant.

Au point de vue structural, il existe une continuité remarquable entre les syénites à structure grenue ou à feldspaths aplatis (*structure foyaïtique*) et des microsyénites quelquefois microgrenues, mais plus souvent caractérisées par l'aplatissement encore plus notable des feldspaths, en même temps que les dimensions des cristaux sont réduites et que parfois apparaissent deux périodes distinctes de cristallisation ; ce dernier type de microsyénite conduit aux trachytes, dans lesquels ces deux caractères sont exagérés.

Les syénites forment des massifs et surtout de très gros dykes au milieu des sédiments. Les microsyénites constituent une forme de bordure des uns et les autres ou bien de petits dykes indépendants.

A. — *Syénites alcalines.*

a. — Syénites quartzifères.

α. **Nordmarkites.** — Ces syénites, de couleur rosée ou d'un blanc grisâtre, sont à grain moyen, à structure foyaïtique ; elles sont souvent miarolitiques. On observe une tendance à la structure porphyrique, avec souvent diversité de couleur des deux catégories de feldspaths. Ceux-ci sont constitués par de l'orthose sodique faculée et un peu d'albite. Ces feldspaths, enchevêtrés, sont moulés par du quartz, qui est parfois assez abondant pour que l'on puisse hésiter sur le nom à donner à la roche qui pourrait tout aussi bien être appelée granite.

Les éléments colorés sont toujours peu abondants et variables comme nature (aegyrine, lanéite, biotite), souvent ils sont entièrement transformés en magnétite ou en limonite ; il existe toujours un peu de zircon.

Je compare ces syénites aux *nordmarkites* de Norvège ; elles sont caractéristiques de la région liasique du Nord-Ouest. Elles forment les hautes falaises de Maromiandra (beaucoup de quartz) (*analyses* **210** et **211**) ; elles se rencontrent dans le massif d'Antsatrotro à Antsahabe (peu de quartz) ; puis dans le massif de Bezavona (entre les hauts ravins des torrents de l'Ouest du mont Bezavona et d'Antsohanina).

A Miharena, se trouve, au milieu des grès, un dyke d'une syénite un peu quartzifère, remarquable par son apparence pseudo-bréchiforme, due à l'existence d'une quantité considérable de petites enclaves noires arrondies ; la partie blanche est essentiellement constituée par des cristaux aplatis, enchevêtrés, de microperthite et d'albite, avec un peu de biotite, d'augite et de sphène : le quartz remplit les intervalles miarolitiques. Dans les enclaves, les mêmes minéraux colorés sont plus nombreux, associés à l'orthose sodique et à l'albite, soit microgrenues, soit aplaties ; çà et là s'observent quelques cristaux porphyroïdes de feldspath ; la magnétite est abondante.

Il existe un autre type de syénite quartzifère, à plus grands éléments (de près de 1 centimètre) ; il est surtout constitué par un feldspath (orthose sodique) jaune vert pâle ; le pyroxène, légèrement verdâtre et un peu polychroïque, est accompagné d'ænigmatite et de quartz. Cette roche abonde à Lokobe (*analyse* **213**) et constitue les pitons d'Andevenanaomby dans le massif de Bezavona. A Lokobe, elle renferme des enclaves noirâtres, à facies monzonitique ; elle est associée au granite décrit page 600.

Micronordmarkites. — Ces roches, à grain fin, renferment des cristaux porphyriques d'orthose ($0^{cm},5$) disséminés au milieu de cristaux plus petits d'orthose faculée et moulés par du quartz. Des cristaux de biotite, de pyroxène (généralement calcifié), de zircon sont clairsemés au milieu de ces feldspaths.

Cette roche est une forme de bordure de la nordmarkite de Maromiandra ; elle constitue aussi des filons minces dans le massif d'Antsatrotro : Antsahalava (type à grain fin, peu quartzifère, traversé par des veinules de 1 à 2 centimètres d'épaisseur, à structure granulitique, renfermant beaucoup de quartz et un peu d'aegyrine) ; Bekolosy (Anabotohaka) (beaucoup d'albite) ; Antsiradrano et Ambalafotsy (avec pyrite et muscovite secondaires) ; Marofototra (avec biotite).

Une autre variété de micronordmarkite rosée constitue la crête de Betankilotra, près d'Andavakoera (dyke) ; elle est assez riche en quartz, et renferme de l'orthose non faculée, une petite quantité d'aegyrine aciculaire et d'une amphibole sodique d'un vert bleuâtre (passage aux trachytes).

J'ai signalé, tome I, page 92, les blocs syénitiques formant des accumulations sur la rive droite de l'Ambatotsivikina ; ils sont constitués par une variété à grain fin, très miarolitique, rappelant les sanidinites des Açores et la syénite quartzifère dont j'ai observé un sill dans les agglomérats basaltiques de la Chapelle de Cilaos, dans le massif du Piton des Neiges, à la Réunion. Dans les cavités miarolitiques apparaissent de petits cristaux d'aegyrine, d'orthose sodique et de quartz. Cette syénite passe à un trachyte ; peut-être n'est-elle pas intrusive, forme-t-elle la partie centrale d'un dôme superficiel : les conditions de gisement ne sont pas démonstratives. Une roche analogue a été recueillie au barrage de l'Andranomalaza, en amont d'Ambatomenavava.

Une nordmarkite encore forme un dyke dans les grès triasiques à un kilomètre au Nord de Bedrietsy, sur le Manambao.

β. **Syénites à pyroxène et amphibole sodiques.** — Les syénites qui viennent d'être décrites peuvent être considérées comme des roches hololeucocrates, mais il existe aussi des types dans lesquels la proportion des minéraux colorés est plus grande.

Une variété riche en quartz, et passant aux granites alcalins, a pour minéraux colorés de l'aegyrine et de la lanéite ; les feldspaths sont les mêmes que dans les granites caractérisés par ces minéraux (orthose sodique, anorthose et albite associés ou non en microperthite). La lanéite, verdie sur les bords, forme des cristaux de plus grande taille que les pyroxènes (aegyrine et augite aegyrinique) ; quand elle est abondante, elle englobe des cristaux (p, g^1, $a^{1/2}$) de feldspath. Je citerai comme gisements : dans la baie d'Ampasindava, Ambaliha, Ampasibitika ; puis Marotony, dans une baie à l'Ouest de Tafondro (Sud-Est de Nosy Be) ; Ambohitrosy dans l'Ambongo (la lanéite, plus ou moins complètement épigénisée par de l'aegyrine, est accompagnée d'ænigmatite).

Un second type, beaucoup moins quartzifère, a pour feldspath de l'orthose peu ou pas faculé ; la lanéite, bleuissant sur les bords, est associée à un peu de diopside et de biotite. A l'inverse de ce qui a lieu pour le type précédent, les minéraux

colorés sont automorphes et englobés par les feldspaths; localement le quartz est associé graphiquement à ceux-ci.

Cette roche existe dans le massif de l'Antsatrotro : à Antsahakolany, puis à Befosa, au Nord de Manongarivo; entre Ankijanibe et Beamalona, sur le Manongarivo; près de Meninakoho (2 kilomètres Sud de Bejofo, sur rive gauche de l'Andranomalaza). Au confluent du Manongarivo et de la Marofototra, une variété, à grain fin, avec augite aegyrinique, renferme des enclaves d'un type granulitique rubané, de même composition, mais dépourvu de quartz.

Une autre variété, provenant d'Antsahakolany, est riche en albite et renferme de l'aegyrine concentrée dans le quartz intersertal; à Antsahabe, un type analogue, à grain plus fin, est peu quartzifère.

b. — Syénites dépourvues de quartz.

α. **Pulaskites.** — Je désigne sous ce nom[1] des syénites blanches ou jaunâtres, à grain moyen ou à gros grain qui sont essentiellement constituées par de l'orthose non faculée sur laquelle se détachent quelques lamelles de biotite et des cristaux d'augite; il existe aussi un peu de magnétite et d'apatite; cette roche se trouve dans la région d'Ambaliha (Ampasindava) (un peu de hornblende brune) et à Antsahakolany, dans le massif d'Antsatrotro.

Une variété que j'ai recueillie à Lokobe (*analyse* **219**) et à Ambanoro près d'Helville, est un peu plus riche en minéraux colorés; elle présente la particularité de contenir un peu d'andésine, bien que la roche ne renferme qu'une faible quantité d'anorthite virtuelle (*analyse* **212**); il est vraisemblable que l'albite, mise en évidence par le calcul, existe en grande partie dans le feldspath alcalin, ce qui a permis la production d'une petite quantité de plagioclase relativement basique, alors que d'ordinaire dans les roches de ce genre, l'anorthite est dissimulée dans le feldspath sodi-potassique.

Une pulaskite pegmatique, dont les éléments ont plusieurs centimètres, a été rencontrée à Nosy Iranja (biotite transformée sur les bords en magnétite) et dans le massif d'Antsatrotro (Antsahakolany).

β. **Syénites néphélinifères.** — Des filons de syénites se trouvent dans les grès liasiques d'Ambaliha, sur la rive gauche du Sambirano; ils sont formés par une roche à grain fin ou à grain moyen, présentant parfois un aspect porphyrique, par suite de l'existence de cristaux d'orthose d'un blanc laiteux, plus grands que ceux qui forment la plus grande partie de la roche. Ces derniers sont aplatis, de

1. Il me paraît préférable de ne pas ranger de roche quartzifère sous cette dénomination, comme je l'ai fait jadis, en appelant pulaskite la syénite de Lokobe.

telle sorte que la syénite évolue vers un type à grands microlites. Ces feldspaths sont de l'orthose faculée d'orthose sodique et d'albite. De l'augite aegyrinique, passant à l'aegyrine sur les bords, une hornblende brune et verte et quelques lames de biotite, constituent les minéraux colorés. Il faut signaler enfin quelques cristaux automorphes, très limpides, de néphéline, inclus dans les feldspaths ; cette roche constitue un passage aux syénites néphéliniques.

La syénite de Nosy Komba, riche en enclaves théralitiques, devient parfois très pauvre en néphéline (Cf. *analyse* **269**).

γ. **Syénites à aegyrine.** — Au pied de la colline de Betankilotra, dans la région d'Andavakoera, se trouve une syénite à grain fin, formée par de grands cristaux d'orthose sodique, enchevêtrés, dont les intervalles sont remplis par des cristaux aplatis du même feldspath, associés à de l'augite aegyrinique, que borde de l'aegyrine, et à un peu de biotite ; il existe de l'analcime intersertale. Cette roche, qui constitue un filon dans les sédiments triasiques, présente une évolution vers la forme trachytique (*analyse* **218**).

Une roche analogue, mais un peu quartzifère, et plus nettement microsyénitique, se trouve sur le flanc Nord de l'Ambondro, à Maroamalona ; l'aegyrine est associée à une petite quantité d'une amphibole verte, voisine de la hastingsite. Une roche du même genre constitue un gros dyke, en forme de muraille, à une heure au Nord du Manambao ; elle renferme une amphibole d'un vert sombre très polychroïque et à peine biréfringente.

Microsyénites à aegyrine. — Dans le massif d'Antsatrotro, se trouvent des filons d'une microsyénite à grain fin, formée d'orthose sodique et d'aegyrine à structure microgrenue (*analyse* **214**).

Sölvsbergites. — La caractéristique de ces roches est le très grand aplatissement des feldspaths (orthose sodique) qui sont orientés dans des directions parallèles, en donnant à l'ensemble une fissilité un peu comparable à celle des phonolites. Les plans de fissilité ont un éclat nacré, très vif, par suite de réflexions sur les faces g^1 des feldspaths ; ils sont tachetés de vert et montrent quelques phénocristaux de feldspaths. Ces roches peuvent être comparées aux *sölvsbergites* de Norvège.

Dans le massif d'Antsatrotro, il existe une variété un peu quartzifère ; le minéral coloré est de la riebeckite, en petites plages poecilitiques par rapport aux feldspaths.

Un très gros dyke d'une variété sans quartz se trouve sur le bord de la mer, à Andrahibo, dans la partie occidentale de la presqu'île d'Ambavatoby ; il traverse le Lias. L'orthose sodique est moulée poecilitiquement par de l'aegyrine et de la

lanéite ; il existe des portions miarolitiques, à gros éléments, formées par l'enchevêtrement de cristaux à formes nettes de tous les minéraux de la roche (*analyse* **219**). Il est vraisemblable qu'on pourrait y trouver des cristaux intéressants, malheureusement je n'ai pu échantillonner que des blocs éboulés dans la mer, qui est assez mauvaise dans ces parages, et a empêché un abordage prolongé.

Enfin, un dernier type, présentant le même aspect extérieur que le précédent, en diffère par la présence de quelques gros cristaux hexagonaux de néphéline, dont les formes sont jalonnées par des plages poecilitiques d'aegyrine, de katophorite et d'ænigmatite. Çà et là apparaissent des phénocristaux d'augite aegyrinique, sur lesquels est orientée l'aegyrine poecilitique (*analyse* **220**). Cette roche se trouve à Nosy Kivonjy ; c'est elle qu'en 1902, j'ai décrite comme phonolite et comme provenant d'Antsoha, petit îlot voisin de Nosy Kivonjy et qui, si les indications toponymiques données par mes bateliers indigènes sont exactes, est uniquement constitué par une cornéenne calcaire métamorphique.

c. Composition chimique des syénites alcalines.

Je donne ci-contre l'analyse de quelques-unes des syénites décrites dans ce paragraphe, en y ajoutant celle de diverses roches auxquelles il est possible de les comparer.

Nordmarkite, Maromiandra, **210**) I'.4.1'.3 (Raoult) ; **211**) 1.4(5).1.3 (Pisani) ; *Syénites,* **212**) Ambanoro, II.5.1.3' (Raoult) ; **213**) Lokobe, I.5.(1)2.3 (Pisani) ; **214**) *Microsyénite à aegyrine,* Antsatrotro, I'.5.1.3' (Boiteau) ; *a*) *Pulaskite,* Rossland (British Columbia), I(II).5.1.3 (Dittrich, *in* Brock, *Canada geol. Survey Report,* 1902, p. 102 A) ; *b*) *Nordmarkite,* mont Ascutney (Vermont), I(II).(4)5.1(2).3 (Hillebrand, *in* Daly, *U. S. geol. Survey Bull.*, n° 209, 1903, p. 59).

	210	211	212	213	214	*a*	*b*
SiO^2	67,22	66,66	62,16	61,92	63,28	62,59	65,43
Al^2O^3	15,84	17,44	15,50	18,15	17,48	17,23	16,11
Fe^2O^3	2,66	1,05	1,82	0,27	2,89	1,51	1,15
FeO	1,65	1,64	4,55	2,90	1,41	2,02	2,85
MgO	0,47	0,45	0,58	1,01	0,66	1,30	0,40
CaO	0,78	0,49	3,34	1,65	0,52	1,99	1,49
Na^2O	4,22	4,50	5,19	5,55	5,86	5,50	5,00
K^2O	5,09	6,68	5,57	6,17	6,18	6,74	5,97
TiO^2	0,64	0,43	0,73	0,35	0,96	0,54	0,50
P^2O^5	0,22	0,14	0,15	0,05	0,26	0,11	0,13
H^2O +	0,89	0,36	0,47	1,44	0,35	»	0,39
—	0,21	0,25	0,21		0,30	0,30	0,19
Cl	0,12	»	»	»	»	»	»
	100,01	100,09	100,27	99,46	100,15	99,83	100,18[1]

1. Y compris MnO 0,23 ; ZrO^2 0,11 ; Cl 0,05 ; F 0,08 ; FeS^2 0,07 ; BaO 0,03.

216) *Micronordmarkite*, Betankilotra, I.(4)5.1.(3)4 (Boiteau) ; **216**) *Syénite*, Lokobe, I.(4)5.1(2).3′ (Raoult) ; *Syénites à aegyrine*, *a*) La Chapelle de Cilaos (Réunion), (I)II.4(5)1.3(4) (Boiteau, *in* A. Lacroix, *C. Rendus*, CLV, 1912, p. 541) ; **217**) Ambohitrosy, I′.(4)5.1′.′4 (Raoult) ; **218**) *Microsyénite à aegyrine*, Betankilotra, I.5.1′.4 (Pisani) ; *Sölvsbergites*, **219**) Andrahibo, I.5.1.(3)4 (Pisani) ; **220**) Nosy Kivonjy, II.5.1.4 (Pisani) ; *b*) Sölvsberget (Norvège), I′.′5.1.′4 (L. Schmelck, *in* Brögger, *Eruptiv. Gesteine Kristianiagebiet*, t. I, 1894, p. 78) ; *c*) *Hedrumite*, lac Skirstad (Norvège), I(II).5′.1′.4 (*Ibid.*, p. 181).

	215	**216**	*a*	**217**	**218**	**219**	**220**	*b*	*c*
SiO^2	65,54	64,26	64,01	63,70	63,20	60,90	60,20	64,92	57,52
Al^2O^3	19,84	16,22	13,96	15,97	19,29	18,42	15,85	16,30	18,46
Fe^2O^3	1,78	3,23	7,31	4,40	1,48	2,02	2,95	3,62	2,23
FeO	0,16	2,72	0,20	2,83	0,38	2,93	3,20	0,84	2,44
MgO	tr.	0,11	0,21	0,39	0,13	0,40	1,65	0,22	1,08
CaO	0,25	2,24	1,02	1,00	0,86	0,97	2,75	1,20	2,12
Na^2O	6,01	5,49	5,30	5,76	7,48	6,38	7,38	6,62	7,58
K^2O	5,25	4,99	5,10	4,42	5,22	5,56	3,32	4,98	4,08
TiO^2	0,23	0,05	1,66	0,65	0,23	0,47	0,39	»	0,92
P^2O^5	0,11	0,04	0,08	0,14	0,07	0,13	0,07	»	0,21
H^2O +	0,71	0,88	1,38	0,29	1,15	0,80	2,00	0,50	1,80
—	0,16	0,23		0,23	0,37	0,65		»	»
	100,04	100,46	100,23	99,78	99,88[1]	99,63	100,16[2]	99,60[3]	99,64[4]

B. — Syénites alcalino-calciques.

a. — Laurvikites.

Le mont Bezavona (700 mètres) et le chaînon qui s'en détache pour se diriger vers le Sud, sont constitués jusqu'à un piton de 700 mètres d'altitude, par une roche à grands éléments feldspathiques, d'un gris perle, englobant de petites taches noires, dans lesquelles on reconnaît, à l'œil nu, de la biotite et du pyroxène. L'analogie est fort grande avec les types de laurvikite de Norvège dont le feldspath n'est pas chatoyant ; toutefois le feldspath est ici isométrique et dépourvu de formes ; c'est de l'orthose sodique, faculée d'anorthose, renfermant très rarement en son centre, un peu d'andésine. Le diopside est légèrement violacé ou verdâtre en lames minces, il se transforme en augite aegyrinique et plus rarement en aegyrine ; il est accompagné de *fayalite*, de biotite et de hornblende brune. Tous

1. Y compris Cl 0,02.
2. Y compris MnO 0,40.
3. Y compris MnO 0,40.
4. Y compris MnO 1,20.

ces minéraux se groupent souvent en petits nids, le péridot et la titanomagnétite sont généralement entourés par de la biotite (*analyse* **221**).

La plus grande partie des feldspaths est postérieure aux minéraux ferrugineux ; çà et là se rencontrent quelques pseudomorphoses de néphéline en muscovite.

Les pitons d'Andevenanaomby, ainsi que deux sommets de 350 mètres d'un chaînon qui se dirige vers le mont Bezavona, sont constitués par une variété de laurvikite qui renferme un peu de quartz ; elle est très pyritisée.

A Ampasibitika et à Ambaliha, j'ai rencontré, sous forme de blocs errants, des syénites parfois violacées, qui se rapportent au même type que la laurvikite de Bezavona, mais avec cette réserve que les feldspaths ont ces sections rhombes, limitées par m et $a^{1/2}$, qui caractérisent la roche de Norvège : la roche qui les renferme est très leucocrate : il existe aussi une variété identique à celle de Bezavona dont le feldspath est de l'anorthose à fines macles quadrillées.

b. — Syénites à hornblende.

Dans le torrent d'Andevenanaomby, se trouvent des dykes traversant les calcaires jurassiques et formés par une syénite à grain fin, grisâtre, présentant de nombreuses taches noirâtres de quelques centimètres de diamètre et qui passent insensiblement à la roche grise. Celle-ci est essentiellement constituée par de l'orthose faculée, aplatie, englobant des baguettes (presque des microlites) de hornblende brune, avec un peu d'augite et de titanomagnétite. Dans les intervalles des cristaux de feldspath se voit un peu d'analcime (*analyse* **224**).

Au microscope, l'on constate que les taches noires ont la même structure et la même composition que le reste de la roche, avec cette différence que la hornblende y est plus abondante ; les analyses données page 641 montrent les relations de composition chimique existant entre ces syénites et cet intéressant type de ségrégation dont nous retrouverons l'analogue dans les syénites néphéliniques. Il est à remarquer que la proportion d'anorthite virtuelle est de plus en plus grande de la syénite à son enclave, qui possède un caractère berondritique des plus nets ; dans l'un et l'autre cas, elle n'est pas exprimée minéralogiquement, elle se trouve à l'état potentiel, à la fois dans l'orthose sodique et dans la hornblende.

c. — Akérites.

J'ai recueilli sur le bord de la mer, à Ankely, à l'extrémité occidentale de la pointe d'Ankify, une roche grise, à aspect syénitique et à grands éléments, qui offre la plus grande analogie chimique avec les roches précédentes, mais le

plagioclase (andésine à labrador) y est exprimé sous forme de cristaux zonés cerclés d'orthose. Ces feldspaths sont associés à de l'augite, en partie automorphe et en partie ophitique ; il existe en outre de la biotite, de l'apatite et de la titanomagnétite. Cette akérite, associée à des syénites néphéliniques, présente quelques traces de phénomènes d'écrasement (*analyse* **222**).

d. — Microlaurvikites et micro-akérites.

α. **Microlaurvikites.** — J'ai examiné une série d'échantillons provenant de filons qui se trouvent dans plusieurs des ravins du massif de Bezavona et qui doivent être considérés comme des formes microgrenues de la laurvikite. Elles sont porphyriques ; de grands cristaux d'orthose, faculée d'anorthose ou d'anorthose finement maclée, sont pressés les uns contre les autres et réunis par de gros microlites enchevêtrés d'orthose, associés ophitiquement à de l'augite verdissant sur les bords, à de la biotite, à de la titanomagnétite ; l'apatite et le sphène sont abondants. Dans quelques échantillons, l'orthose renferme un noyau d'andésine basique ; il existe quelques variétés très pauvres en minéraux colorés.

β, **Micro-akérites.** — Cette roche constitue un dyke dans les grès liasiques d'Ambodimadiro sur les bords de la baie d'Ampasindava. Sur un fond blanc, finement grenu, se détachent des lames hexagonales de biotite, allongées suivant pg^1 ; de petites baguettes d'augite et de hornblende noire, des feldspaths vitreux (orthose faculée et labrador) en cristaux indépendants ou en cristaux groupés à axes parallèles en zones concentriques (le feldspath alcalin occupe l'extérieur) ; ces phénocristaux, accompagnés de titanomagnétite, sont englobés dans un magma microgrenu d'orthose, d'oligoclase, avec augite, biotite, un peu de néphéline et d'analcime.

L'*analyse* **223** montre l'analogie que cette roche présente avec les akérites, bien qu'elle soit moins calcique ; je l'ai décrite autrefois sous le nom de micromonzonite, qui doit être rectifié pour être mis en harmonie avec ma nomenclature actuelle.

Je rapporte au même type une roche formant un dyke, dans les grès liasiques, entre Ambodibonara et Ambararata, dans la haute Loky.

e. — Composition chimique des syénites alcalino-calciques.

Je donne ci-contre quelques analyses de ces roches :

221) *Laurvikite*, mont Bezavona, II.5.2(3).4 (Raoult) ; **222**) *Akérite*, Ankely, II.5.2(3).'4 (Boiteau) ; **223**) *Micro-akérite*, Ambodimadiro, 1.'5'.2.'4 (Pisani),

224) *Syénite à hornblende*, Andevenanaomby, II.5.2'.(3).4 (Pisani) ; *a*) *Laurvikite*, Fredriksvärn (Norvège), I'.5.2.(3).4 (Forsberg, *in* Brögger, *Zeitschr. f. Kryst.*, t. XVI, 1890, p. 30 ; *b*) *Akérite*, Ramnäs (Norvège), 'II.5.2'.4, Mauzelius, *in* Brögger (*op. cit.*).

	221	222	223	224	*a*	*b*
SiO^2	55,28	53,39	56,25	54,20	57,12	58,48
Al^2O^3	17,17	17,96	19,75	19,90	21,69	19,24
Fe^2O^3	3,53	2,49	1,85	2,60	1,63	5,75
FeO	5,27	4,91	4,23	3,65	3,65	n. d.
MgO	1,65	3,13	2,54	1,41	1,55	0,99
CaO	5,52	6,41	3,62	3,12	4,03	5,02
Na^2O	4,99	4,37	5,91	5,42	5,93	5,52
K^2O	2,31	3,43	4,80	4,82	3,48	3,06
TiO^2	1,92	1,81	0,63	1,15	»	0,96
P^2O^5	0,31	0,62	0,70	0,23	»	»
H^2O +	1,05	0,80	0,83	3,37	0,58	0,47
—	0,24	0,39				
Cl	0,19	»	»	»	»	»
CO^2	0,69	»	»	»	»	»
	100,12	99,71	101,11	99,87	99,66	99,49

II. — SYÉNITES NÉPHÉLINIQUES.

Parmi les syénites néphéliniques malgaches post-liasiques, qui sont concentrées dans la province pétrographique d'Ampasindava, j'établis deux types. L'un caractérisé par la présence d'aegyrine a une existence indépendante, l'autre caractérisé par de la hornblende, fait partie d'une série pétrographique très extensive, avec laquelle elle va être décrite. Tandis que les syénites néphéliniques connues dans le Massif cristallin ont pour feldspath potassique du microcline quadrillé, celui-ci est absent des syénites néphéliniques de la région sédimentaire qui renferment de l'orthose souvent faculée d'anorthose et de l'orthose sodique, avec fréquemment de la microperthite (avec albite).

Dans ce paragraphe, je ne m'occuperai donc que du premier type.

A. — *Syénites néphéliniques.*

a. — Syénites néphéliniques à aegyrine.

Ces syénites sont généralement caractérisées, au point de vue structural, par l'aplatissement des feldspaths ; elles correspondent donc à la *foyaïte* de M. Brögger.

Les unes se trouvent véritablement en filons, les autres forment des masses intrusives de plus grande importance.

Les roches dans lesquelles la structure foyaïtique est le plus nette, sont celles qui constituent des filons; on peut prendre pour exemple celles, à gros grain, qui se trouvent à Nosy Komba, à l'Est-Sud-Est d'Ampangorinana et aussi dans le centre de l'île (*analyse* **225**).

Sur un fond feldspathique (microperthite d'orthose et d'albite) formé de cristaux aplatis et enchevêtrés, se détachent de la néphéline verte ou rouge, à éclat gras, riche en inclusions à bulle, et de l'analcime incolore ou jaunâtre; celle-ci renferme de petits cristaux de zircon, d'aegyrine et de fluorine de formation certainement contemporaine et ce fait m'a conduit jadis à considérer cette analcime comme constituant le dernier minéral formé et non pas comme un produit d'altération secondaire. Ces minéraux remplissent tous les intervalles des feldspaths; il existe un peu de biotite à l'état microscopique, de la rinkite et la variété d'eudialyte dont il a été question tome I, page 589. Cette syénite est traversée par des traînées à plus gros éléments.

Des syénites analogues se rencontrent à Analavory, au Nord de Manongarivo (avec låvénite) et aussi dans le massif de Bezavona (torrents d'Antsohanina, d'Ampiambesany, d'Andevenanaomby), où elles forment des filons dans les autres syénites et dans les calcaires métamorphiques. Ce sont des roches à gros éléments dont les feldspaths (orthose sodique ou microperthite) sont troubles ou d'un blanc laiteux, alors que la néphéline est grise, verte ou d'un brun rouge ; elle est en partie intersertale et en partie automorphe. L'aegyrine est accompagnée d'augite aegyrinique, épigénisant une amphibole disparue ; il existe un peu de rinkite, d'eudialyte, de *blende*. Ce type devient localement pegmatique et renferme des traînées riches en aegyrine ; elle passe aussi à des microsyénites particulièrement riches en rinkite. Il n'est pas rare de voir les grandes plages de néphéline remplacées par une masse noire, finement grenue, formée par de petites aiguilles d'aegyrine, associées à de la rinkite, à des grains de néphéline et d'orthose et constituant une tinguaïte en miniature.

Sur la rive droite de la Berondra, à la base orientale du mont Andevenanaomby, j'ai rencontré un petit massif d'une belle syénite néphélinique, à gros grain, mi-grenue, mi-foyaïtique dans laquelle la néphéline automorphe est accompagnée de grandes plages de microperthite, d'albite et d'anorthose, d'amphibole arfvedsonitique d'un vert bleuâtre, d'ænigmatite, de rinkite, d'eudialyte (en voie de transformation en catapléite) et d'astrophyllite; il est des points dans lesquels l'eudialyte se concentre au milieu de traînées visibles à l'œil nu qu'elle colore en carmin vif (*analyse* **226**).

Ces syénites néphéliniques correspondent à un des types chimiques les plus répandus dans ces roches, très riche en alcalis et surtout en soude, très pauvre en chaux et en magnésie.

225) Nosy Komba, I.6.1.4 (Pisani); **226**) Andevenanaomby (type à eudialyte), II.7.1.4 (Raoult) ; *a*) Rouma (îles de Los), I.6'.1.4 (Pisani, *in* A. Lacroix).

	225	226	*a*
SiO^2	58,61	52,28	54,55
Al^2O^3	21,80	20,91	20,50
Fe^2O^3	1,76	4,11	1,84
FeO	1,77	1,58	1,73
MgO	0,62	0,24	0,55
CaO	0,30	1,88	0,55
Na^2O	9,45	11,49	11,00
K^2O	5,21	4,77	4,91
TiO^2	»	0,40	0,34
P^2O^5	»	0,21	»
H^2O +	0,75	0,68	1,33
—	»	0,14	
Cl	»	0,47	0,49
F	»	»	0,92
MnO	»	0,22	0,59
ZrO^2	»	0,61	0,60
	100,27	100,08[1]	99,90

b. — **Syénites néphéliniques à augite aegyrinique et biotite.**

Ces syénites forment quelques filons à Nosy Komba et dans le massif de Bezavona ; leur structure est foyaïtique. L'augite est d'un vert pâle, mais devient d'un vert foncé sur les bords ; elle constitue souvent des agrégats dentelliformes, plus ou moins mélangés de magnétite, représentant des pseudomorphoses d'une amphibole disparue ; c'est la répétition d'un fait que j'ai observé dans les syénites néphéliniques du Nord de Kassa (îles de Los[2]). La biotite est abondante ; elle présente des phénomènes de résorption en magnétite et augite. Enfin, il existe un peu de låvénite, d'ænigmatite, d'olivine, pseudomorphisée au centre en pyroxène et magnétite et sur les bords en biotite.

Quelquefois, les intervalles intersertaux des feldspaths, au lieu d'être remplis par de la néphéline, le sont par un mélange microgrenu ou microlitique de néphéline et d'orthose ; c'est un passage aux roches microgrenues et phonolitiques comparable à celui que l'on rencontre dans certains gabbros intersertaux à facies diabasique.

1. Y compris CO^2 0,09.
2. A. Lacroix, Les syénites néphéliniques des îles de Los, *Nouvelles Arch. Museum*, t. III, 1911 (1-128).

B. — *Microsyénites néphéliniques et tinguaïtes.*

Les roches grenues de la série syénito-théralitique de la province d'Ampasindava sont accompagnées par des filons minces, à structure microgrenue ou microfoyaïtique, roches qui, parfois aussi, forment, au milieu des divers types de syénites, des traînées interrompues, simples accidents structuraux.

A ces roches, il faut en joindre d'autres qui constituent des filons indépendants et qui ne sont, peut-être, que des cheminées ayant amené au jour des phonolites, aujourd'hui enlevées par érosion. Dans ma description, je ne séparerai pas ces divers cas.

a. — **Aplites néphéliniques.**

Ces roches sont finement grenues et non porphyriques. A Nosy Komba, elles sont blanches ou d'un gris verdâtre, à cassure esquilleuse. L'examen microscopique met en évidence une composition simple : orthose, néphéline, fort peu d'aegyrine ou d'augite aegyrinique, avec une structure microgrenue uniforme (*analyse* **227**).

A Nosy Komba, ces aplites forment des filons très minces, à la fois dans les syénites néphéliniques dans les essexites et les gabbros amphiboliques.

Des filons très nombreux, atteignant un mètre d'épaisseur, abondent à l'extrémité méridionale de la chaîne de Bezavona, notamment au-dessus du torrent d'Antsohanina, ainsi que sur le versant Nord du mont Bezavona. La berondrite de la Berondra est traversée par des veinules d'une variété de couleur verdâtre qui renferme une proportion plus grande d'augite aegyrinique et de sphène.

Ces aplites néphéliniques offrent une très grande ressemblance avec celles des îles de Los et de Cabo Frio, au Brésil.

b. — **Microsyénites néphéliniques.**

Il existe une très grande variété de microsyénites néphéliniques à structure microgrenue, ou microfoyaïtique ; elles sont porphyriques ou non, et passent parfois à des phonolites.

Le minéral coloré y est souvent de l'aegyrine, avec un peu d'une amphibole arfvedsonitique ; tel est le cas réalisé, sous forme de traînées, dans la syénite néphélinique à aegyrine de Nosy Komba et dans celle du massif de Bezavona (petite quantité d'astrophyllite, d'ænigmatite et phénocristaux de néphéline rosée de $1^{cm},5$) (*analyse* **128**) : ces traînées deviennent parfois franchement microlitiques et sont de véritables phonolites (*analyse* **129**).

La crête du mont Bekotapo est formée par un gros dyke d'une roche d'un gris verdâtre du même genre, riche en analcime, qui, au point de vue structural, offre un bel exemple du passage des syénites néphéliniques aux phonolites ; une roche semblable, associée à des phonolites, se rencontre dans la montagne voisine d'Ankitsika.

Un autre type est caractérisé par l'augite aegyrinique, associée à quelques phénocristaux d'orthose faculée, de plagioclases, de sphène. Dans le massif de Bezavona, cette roche renferme des cavités que tapissent des cristaux d'analcime, de stilbite et de grossulaire jaunâtre.

Enfin, plus rarement, à Nosy Komba et à Ambaliha sur le Sambirano, j'ai rencontré une microsyénite renfermant de la hornblende ou de l'augite. Ces minéraux colorés sont distribués d'une façon très inégale, de telle sorte que, par places, la roche est complètement blanche.

c. — Tinguaïtes.

Les tinguaïtes sont caractérisées par la structure de l'aegyrine (et parfois de l'amphibole) qu'elle renferme et qui forme de longues aiguilles allongées suivant l'axe vertical ; elles sont uniformément distribuées et donnent à la roche sa couleur vert poireau caractéristique. Ce mode de distribution fait quelque peu illusion sur la quantité du minéral, qui, à Madagascar, n'est jamais très grande.

α. **Tinguaïtes.** — Les tinguaïtes dépourvues de phénocristaux constituent de très nombreux filons au milieu des roches éruptives de Bezavona, aussi bien que dans les sédiments voisins.

Une caractéristique fréquente consiste dans l'apparition sur les cassures de la roche de larges clivages de 1 à 2 centimètres carrés qui trahissent l'existence de grands cristaux d'analcime. Au microscope, on constate l'abondance des aiguilles d'aegyrine, distribuées dans la néphéline souvent automorphe et dans l'orthose.

Des tinguaïtes analogues se rencontrent à Ampasimena (variété à grain très fin) ; à Ankitsika ; au Bekotapo (l'orthose y présente localement une structure sphérolitique) ; à Marofototra ; dans la région de Diégo-Suarez, au col d'Andrakaka ; à Dzaouzi, Comores (blocs dans tuf volcanique).

Sur les contreforts Sud-Est du Bezavona, se trouve une brèche à fragments rubéfiés de laurvikite, cimentés par une tinguaïte, particulièrement riche en aegyrine ; les éléments blancs sont microgrenus ; au contact, la laurvikite est remplie de petites aiguilles d'aegyrine secondaire et son pyroxène est épigénisé par le même minéral. Des traînées riches en aegyrine se trouvent au milieu de la syénite néphélinique à aegyrine de Nosy Komba.

β, **Tinguaïtes porphyriques.** — Plus abondante encore que le type précédent dans le massif de Bezavona est une tinguaïte, riche en gros phénocristaux d'orthose et de néphéline qui ont une grande tendance à se grouper entre eux. La néphéline y est quelquefois transformée en muscovite. Ces tinguaïtes prennent parfois une coloration jaune ou gris verdâtre quand le pyroxène est acmitique : les clivages d'analcime y sont très fréquents.

C'est au même type, mais avec des phénocristaux moins gros, qu'il faut rattacher la plupart des tinguaïtes (ou phonolites) de la région de Diégo Suarez (filons ou coulées) qui contiennent souvent des géodes d'analcime. C'est la première roche de ce groupe que j'ai signalée à Madagascar; son feldspath (orthose sodique) a été étudié par Fouqué [122] et son gisement par M. P. Lemoine [199] (*analyse* **234**).

γ. **Obsidiennes tinguaïtiques.** — Ces roches sont les plus singulières peut-être de celles que j'ai décrites à Madagascar. Je les appelle tinguaïtiques plutôt que phonolitiques, bien qu'elles ne renferment pas d'aegyrine, parce qu'elles possèdent la même couleur vert poireau que les tinguaïtes qu'elles accompagnent dans le massif de Bezavona et parce que, sur le terrain, on ne saurait séparer ces roches des véritables tinguaïtes. Une première variété forme des filons dans la syénite du mont Andevenanaomby et il est très facile d'obtenir des échantillons constitués par ces deux roches; la cassure est irrégulière ; la coloration d'un vert foncé ; au microscope la roche apparaît comme formée par un verre brunâtre, à cassures de retrait sinueuses comme celles de la serpentine colloïde et non curvilignes à la façon de celles des verres acides. On y distingue de larges plages limpides, irrégulières, dont le fond isotrope renferme des rosettes cristallitiques de biotite verte en lames excessivement minces, avec parfois fort peu d'aegyrine. Il existe aussi quelques microlites d'orthose qui ont une tendance à former des sphérolites au milieu des rosettes micacées. Enfin il faut citer quelques phénocristaux d'orthose autour desquels viennent se grouper ces rosettes cristallitiques.

Dans le torrent d'Antsohanina, des filons d'une autre variété traversent les calcaires et les syénites néphéliniques. A l'œil nu, la roche n'apparaît plus homogène, comme dans le cas précédent, elle présente une structure variolitique. Sur les cassures, on voit une foule de cercles ou d'ellipses, à grand axe disposé suivant les salbandes et pouvant mesurer plus d'un centimètre de diamètre ; la couleur est d'un vert poireau clair, variant d'intensité suivant des zones concentriques. Au microscope, une structure fluidale est mise en évidence par l'orientation de quelques phénocristaux d'orthose, de néphéline, d'augite aegyrinique, disséminés sur un fond isotrope, riche en ponctuations ferrugineuses, qui se concentrent en grains plus gros, entourés d'un halo incolore. C'est l'inégale distribution

de ces produits ferrugineux extrêmement menus, qui constitue toutes les variétés texturales qui viennent d'être signalées. J'ai figuré les diverses particularités microscopiques et macroscopiques de ces roches dans les planches 9 et 13 de mon mémoire de 1904.

Aux environs d'Ambodimadiro, se rencontre une roche très altérée, devenue jaunâtre, qui possède la même structure et qui appartient certainement au même type pétrographique.

δ. **Tinguaïtes amphiboliques.** — Un filon mince, traversant les grès du Bekotapo, a une pâte noire, riche en fines aiguilles de hornblende et d'augite aegyrinique. Elle renferme une telle quantité d'enclaves anguleuses de grès et de calcaires qu'elle ne constitue guère que le ciment d'une brèche éruptive. A ce point de vue, celle-ci est à comparer à la brèche qui se trouve dans des conditions analogues dans la ville même de Montréal [1], mais dont la roche éruptive est une camptonite. Ici, comme là, les fragments sédimentaires ne sont pas métamorphisés.

C. — *Microsyénites et tinguaïtes analcimiques.*

J'ai rencontré dans le massif de Bezavona, des microsyénites et des tinguaïtes qui renferment comme élément essentiel un grand nombre de trapézoèdres nets, constitués par de l'*analcime* et qu'en 1902, j'ai décrites comme étant originellement constituées par de la leucite. On sait en effet avec quelle facilité ce minéral perd sa potasse, sous l'influence de solutions sodiques.

Depuis lors, de telles roches ont été décrites et l'origine primaire de l'analcime, admise sans conteste pour la monchiquite, a été attribuée aussi à l'analcime nettement cristallisée de certains basaltes [2] et de roches spéciales, telles que cette sorte de rhomben-porphyr de Rock Creek dans les Montagnes-Rocheuses, décrite par M. Daly [3] sous le nom de *shackanite* (*analyse b*) et aussi cette surprenante roche phonolitique des Crownest volcanics (montagnes rocheuses d'Alberta au Canada), appelée *blairmorite*, par M. J.-D. Mackenzie [4] et qui renferme l'analcime, à la fois en très gros phénocristaux et en microlites (*analyse a*).

L'examen d'échantillons de ces roches, que je dois à mes savants collègues, aussi bien que leurs arguments, ont ébranlé ma conviction première ; j'ai d'ailleurs

1. *XII*e *Congrès géol. intern.*, Guide-Book, n° 3, 1913, p. 53.
2. Washington, *J. of Geology*, t. IV, 1914, p. 742.
3. Geology of the North American Cordillera at the Forty-Ninth Parallel, *Canada geol. Survey*, Mem. n° 38, 1912, p. 411.
4. The Crowsnest Volcanics, *Canada geol. Surv. Museum Bull.*, n° 4 ; *Geol. ser.*, n° 20, 1914 et *Amer. J. of sc.*, t. XXXIX, 1915, p. 571.

récemment étudié moi-même en détail[1] une série de roches leucitiques variées que j'ai recueillies à Trébizonde (Asie-Mineure) et dans lesquelles se rencontrent des pseudomorphoses progressives de leucite en analcime ; dans ces roches, la composition finale fournit des paramètres magmatiques qui appellent l'attention sur leur composition anormale. Il n'en est pas de même pour les roches malgaches : dans le tableau qui sera donné plus loin, on verra réunis les types dépourvus de ces trapézoèdres et d'autres qui en renferment en abondance sans que la composition chimique soit notablement différente ; il semble donc bien que ces roches à analcime n'aient pas changé de composition chimique, que la prédominance de la soude sur la potasse soit originelle (*analyses* **231** à **233**). C'est pourquoi je me suis rallié à l'hypothèse de l'origine primaire de l'analcime.

a. — Microsyénites analcimiques.

Dans la chaîne de Bezavona, ces roches sont à grain fin, grises et mouchetées de noir ; elles sont privées de phénocristaux ; la pâte est formée par des trapézoèdres d'analcime constitués eux-mêmes par l'agglomération de cristaux de même forme, plus petits ; ils sont moulés par de l'orthose trouble et par quelques petits grains discoïdes de hornblende (*analyse* **231**).

b. — Tinguaïtes analcimiques.

C'est aussi dans le massif de Bezavona, que se rencontre cette variété de tinguaïte en filons dans les sédiments et dans les roches néphéliniques. Ces filons présentent des exemples frappants de l'influence de la vitesse de refroidissement sur la structure. Quand ils sont très minces, ils ont la cassure conchoïdale des pechsteins, mais dès qu'ils atteignent quelques décimètres de puissance, ils deviennent pierreux et la zone vitreuse est limitée au premier décimètre en contact avec les épontes. Des phénocristaux d'andésine, de barkévicite, d'augite aegyrinique et des trapézoèdres incolores, très limpides, sont distribués dans une pâte de néphéline automorphe, d'orthose faculée, englobant de longs microlites d'augite aegyrinique (originellement violacés et se transformant sur les bords en aegyrine) et enfin de hornblende. Dans les parties vitreuses, les microlites deviennent indistincts, à l'exception de très petits trapézoèdres d'analcime jalonnés par de très fines aiguilles pyroxéniques, de petites lamelles de biotite et des grains de magnétite. Quant à l'augite, elle est restée violacée (*analyses* **232, 233**).

Cette roche vitreuse injecte aussi des fissures capillaires dans la syénite néphé-

1. *C. Rendus*, t. CLXVIII, 1919, p. 637.

linique et renferme de petits fragments de celle-ci. L'analcime qui constitue les trapézoèdres est monoréfringente, tandis que celle qui tapisse les cavités de la roche est biréfringente.

c. — Phonolites analcimiques.

Un autre filon traversant le haut lit du torrent d'Ampiambesany ne peut plus être appelé une tinguaïte, car le pyroxène y est rare et n'est pas aciculaire. Sur une pâte noire verdâtre, ne se distinguent, à l'œil nu, que quelques cristaux de biotite et de hornblende. Au microscope, on constate que ces phénocristaux sont accompagnés d'augite, de trapézoèdres d'analcime, riches en petites inclusions d'augite groupées en couronnes et distribuées dans un magma formé d'orthose, de plagioclase à extinctions longitudinales, d'augite et de magnétite ; il existe beaucoup de calcite épigénisant, semble-t-il, du verre. Cette roche, par sa richesse en analcime, eût été intéressante à étudier au point de vue chimique, malheureusement elle est trop altérée (calcifiée) pour qu'il ait été possible de l'analyser avec fruit.

d. — Composition chimique des microsyénites et tinguaïtes.

Les analyses suivantes (Pisani) montrent que toutes les roches filoniennes qui viennent d'être décrites présentent une composition très sensiblement la même et qui se rapproche de celle des syénites néphéliniques leucocrates des mêmes gisements.

227) *Aplite néphélinique,* Nosy Komba, I'.(5)6.1.'4 ; **228**) *Traînée phonolitique* dans syénite, Nosy Komba, I.6.1.4 ; **229**) *Microfoyaïte,* I'.6.1'.'4 ; **230**) *Tinguaïte variolitique,* Antsohanina, I'.6(7).1'.4 ; **231**) *Microsyénite analcimique,* I'.6.1(2).4 ; *Tinguaïte à hornblende et analcime* ; **232**) (centre du filon), I(II).6(7).1'.4 ; **233**) (bords), I'.6(7).1(2).4 ; **234**) *Tinguaïte,* Andrakaka, I'.6.1.'4 (Boiteau).

	227	228	229	230	231	232	233	234
SiO^2. . .	59,20	58,62	58,25	52,60	54,25	53,20	53,40	54,97
Al^2O^3. . .	20,60	21,50	21,00	22,80	22,61	22,60	23,50	21,27
Fe^2O^3. . .	2,31	0,47	0,48	2,43	0,61	1,81	1,57	2,25
FeO. . .	2,07	3,65	3,22	2,00	3,60	2,46	2,35	1,02
MgO. . .	0,87	0,88	0,99	1,09	0,26	0,38	0,66	0,33
CaO. . .	0,93	0,56	1,60	1,67	1,62	3,22	2,64	1,65
Na^2O. . .	7,01	7,95	8,01	9,42	8,95	9,05	9,10	8,87
K^2O. . .	6,75	5,47	5,86	5,21	3,97	5,16	5,58	6,15
TiO^2. . .	0,07	0,06	0,06	0,26	0,32	0,32	0,33	0,35
P^2O^5. . .	»	»	»	»	»	»	»	0,14
H^2O +.. .	1,50	1,12	0,62	2,12	3,12	3,00	1,25	2,44
—.. .								0,31
Cl. . . .	tr.	»	»	»	»	»	»	»
	101,31	100,28	100,09	99,60	99,31	101,20	100,38	99,75

a) *Blairmorite,* Crownest volcanics, I(II).'6.1.4(5) (F. Connor, *in* Mackensie *op. cit.*; *b*) *Shackanite,* Rock Creek, I(II).5.2'.4 (Dittrich, *in* Daly, *op. cit.*).

	a	*b*
SiO^2	54,04	52,24
Al^2O^3	18,86	19,28
Fe^2O^3	3,30	4,34
FeO	0,76	1,13
MgO	0,70	1,85
CaO	2,32	4,43
Na^2O	9,77	6,34
K^2O	2,26	2,40
TiO^2	0,20	0,73
P^2O^5	»	0,59
H^2O +	7,00	4,63
—		0,80
CO^2	0,80	0,35
	100,09[1]	99,89[2]

1. Y compris MnO 0,08.
2. Y compris BaO 0,36; SrO 0,42.

CHAPITRE III

SÉRIE SYÉNITO-THÉRALITIQUE

La province d'Ampasindava fournit le plus bel exemple qu'il soit possible d'imaginer d'une série lithologique continue, formée par des roches à néphéline dont tous les termes présentent le même minéral caractéristique, une hornblende brune dont l'analyse est donnée à la page 536 du tome I. Cette série s'étend depuis des syénites très leucocrates, jusqu'à des roches plagioclasiques, néphéliniques ou non, extrêmement riches en hornblende. Je discuterai dans un chapitre spécial les relations magmatiques de ces différentes roches ; je me propose ici simplement de les définir.

I. — SYÉNITES NÉPHÉLINIQUES.

A. — *Syénites néphéliniques à hornblende.*

La syénite qui constitue le plus grand nombre des dykes de Nosy Komba est grise, blanche ou rosée, à grain moyen ou à grain fin. Sur un fond grenu de néphéline (avec sodalite et analcime) et de feldspath alcalin, se détachent de petites baguettes allongées de hornblende noire, à clivage très éclatant ; l'examen microscopique montre, en outre, de l'augite aegyrinique, du sphène, de la titanomagnétite. Le feldspath est formé par de l'orthose faculée d'orthose sodique et d'albite.

Le type moyen est représenté par un dyke constituant le point culminant de l'île (pic d'Antananaomby) ; il est nettement leucocrate (*analyse* **236**).

Il existe des variétés beaucoup plus riches en éléments blancs ; elles constituent en particulier les veinules blanches qui injectent les roches essexitiques de la côte Nord, Nord-Ouest et Nord-Est de l'île. Il en est de beaucoup plus riches en éléments colorés. Ces syénites présentent de nombreuses variétés pegmatoïdes.

Dans les parties élevées de l'île et sur son flanc oriental, vers l'altitude de 400 mètres, se trouve une variété riche en lames de biotite.

Les analyses **236** et **237** montrent que la composition chimique des types leucocrates de cette syénite se rapproche beaucoup de celle de la syénite à aegyrine, avec cette réserve que la proportion du fer ferrique, ainsi que la teneur en soude sont plus faibles. La teneur en potasse arrive même parfois à être légèrement supérieure à celle de la soude (*analyse* **235**).

235) Côte Nord de Nosy Komba, 'I.'6.1.3' (Pisani) ; **236**) Pic d'Antananaomby, I(II).6.1.4 (Pisani) ; **237**) veine blanche, dans gabbro amphibolique, Nord-Ouest de Nosy Komba, I.6.1'.4 (Boiteau) ; **238**) *Syénite à noséane,* entre Amparihy et Belalona (I)II.6.1'.'4 (Pisani). Cf. plus bas.

	235	236	237	238
SiO^2	58,72	57,09	55,95	54,50
Al^2O^3	21,40	20,00	22,96	21,10
Fe^2O^3	0,39	2,05	0,86	2,08
FeO	1,39	2,07	1,10	2,22
MgO	0,75	0,73	0,25	1,37
CaO	1,72	2,60	1,71	3,74
Na^2O	7,10	7,81	7,17	8,15
K^2O	7,48	5,51	6,43	5,59
TiO^2	0,19	1,10	0,33	1,06
P^2O^5	0,10	0,08	0,10	0,05
H^2O +	0,68	1,75	2,55	0,45
—			0,35	0,18 SO^3
	99,92	100,79	99,76	100,49

B. — *Syénite à noséane.*

La seule syénite à feldspathoïdes que je connaisse, en dehors de la région d'Ampasindava, m'a été rapportée par Rouquette de la plateforme gneissique, située entre Amparihy et Belalona ; elle provient d'un des dômes dont il a été question page 112 du tome I, mais je n'ai aucune précision sur son gisement ; toutes les roches qui l'accompagnent sont microlitiques. C'est une roche leucocrate, essentiellement constituée par de l'orthose sodique, enveloppant, par places, un peu d'andésine ; ces feldspaths englobent de grands cristaux de noséane incolore (inclusions ferrugineuses), des cristaux plus petits d'augite, de sphène et de magnétite titanifère. Cette roche se distingue de celle de Kassa (Los), dont il est question plus haut, non seulement par l'absence de grenat et d'amphibole, mais parce que la soude y prédomine sur la potasse (*analyse* **238**). Le plagioclase virtuel renferme 18 pour 100 d'anorthite, alors que celui qui est exprimé en contient environ 30 pour 100, une partie de la soude entrant dans la constitution de l'orthose sodique.

B. — *Syénites néphéliniques à enclaves micro-essexitiques et microthéralitiques.*

Une autre variété lithologique présente une structure franchement grenue (je l'ai jadis qualifiée de ditroïte); la hornblende est raccourcie, les proportions de néphéline diminuent souvent beaucoup et la roche n'est plus que néphélinifère (*analyses* **242** et **243**), constituant un passage au type syénitique dont il a été question page 607. La caractéristique de cette roche est l'extrême abondance d'enclaves noires essexitiques ou théralitiques à contours indécis et qui sont véritablement des ségrégations formées sur place; leurs dimensions varient depuis quelques millimètres jusqu'à un décimètre; elles sont localement si abondantes que la roche ressemble à une brèche. La syénite qui les enveloppe paraît elle-même très hétérogène.

Par leur composition minéralogique et chimique, ces enclaves se rapportent aux essexites et aux théralites qui vont être décrites plus loin, mais elles présentent quelques particularités spéciales; elles sont à grain fin et porphyriques, elles renferment des cristaux nets de hornblende et de petites taches blanches, plus ou moins polyédriques, qui font penser à des *pseudo-leucites*; il existe aussi quelques phénocristaux de plagioclases basiques et d'olivine jaune. L'examen microscopique fait voir qu'à l'inverse des phénocristaux, la hornblende de la pâte, accompagnée d'un peu d'augite, n'a pas de formes géométriques; sa cristallisation a précédé ou suivi celle des feldspaths et de la néphéline. De grandes variations doivent être signalées dans la proportion de ces derniers minéraux, suivant les points considérés, les feldspaths sont monocliniques ou tricliniques ou bien ces deux types sont associés.

L'olivine présente d'une façon constante de curieuses transformations constituées, à l'intérieur, par de l'augite, mélangée à de la magnétite et du côté de l'extérieur, par des lames de biotite, implantées perpendiculairement à la zone pyroxénique; parfois une croûte d'amphibole entoure extérieurement cette zone micacée. Il n'est pas rare de rencontrer des cas dans lesquels l'olivine est entièrement remplacée par ces nodules de pyroxène et de mica. Des transformations analogues, qui ne peuvent guère être expliquées que par une réaction du péridot et des feldspaths alcalins voisins, a été décrite par M. Pirsson[1] dans la shonkinite du Jogo Peak (Montana), mais la réaction y est plus simple, car la zone interne est constituée, non par de l'augite, mais par de l'hypersthène. J'ai moi-même trouvé

1. Geology of the Little Belt Mountains (Montana), 20th *Ann. Rep. U. S. geol. Survey*, 1898-1899, Part III, p. 482.

des transformations analogues[1] dans les monchiquites de l'île Rouma (archipel de Los), mais, là, l'olivine est transformée en un mélange de biotite et de magnétite.

Analyses : *Syénite néphélinifère* (à enclaves) **242**) E. d'Ampangorinana, II.5.2.'4 (Pisani) ; **243**) Côté Nord-Est de Nosy Komba. II.5(6).'2.4 (M. Raoult).

	239	240
SiO^2	56,22	55,95
Al^2O^3	17,92	17,42
Fe^2O^3	2,44	2,60
FeO	3,85	5,22
MgO	1,58	3,17
CaO	5,42	5,02
Na^2O	6,36	5,15
K^2O	3,93	4,00
TiO^2	0,94	1,05
P^2O^5	0,27	0,18
H^2O +	1,02	0,50
—	0,26	
	100,21	100,26

II. — MONZONITES NÉPHÉLINIQUES.

J'ai proposé, en 1902 [131], de désigner sous ce nom une famille de roches, intermédiaires entre les syénites néphéliniques et les essexites et caractérisées par l'association de la néphéline à un mélange, en proportions à peu près égales, de feldspaths potassiques et de plagioclases (le rapport calculé du premier au second devant être plus grand que 0,6). Deux cas peuvent se présenter, dans l'un, la quantité de potasse est égale ou supérieure à celle de la soude ; dans l'autre, la soude l'emporte sur la potasse.

Monzonites néphéliniques potassiques. — A Madagascar, il faut rapporter à la monzonite néphélinique du premier type certains filons de la région Miharena-Ankaramy et des roches résultant, comme celle dont l'analyse (**240**) est donnée ci-contre, de l'action endomorphe des syénites néphéliniques sur les gabbros amphiboliques de Nosy Komba ; ce sont donc des *roches hybrides*, dans le sens que M. A. Harker a donné à ce terme[2]. Ces monzonites néphéliniques ne se distinguent pas par leurs caractères extérieurs des essexites qui vont être décrites plus loin ; seule la teneur en feldspath alcalin est plus considérable.

Monzonites néphéliniques sodiques. — Des roches à facies analogue à celui des précédentes se rencontrent dans le massif de Bezavona ; un type leucocrate forme la

1. *Nouvelles archives Museum*, t. III, 1911, p. 83.
2. *Natural history of igneous rocks*, p. 333.

plus grande partie du chaînon Antsohanina-Ampiambesany ; une variété mésocrate abonde sur la rive droite du torrent d'Ampiambesany et constitue de nombreux pointements sur la rive droite du bas cours de celui d'Andevenanaomby. C'est entre ces deux gisements qu'apparaît la berondrite et il est souvent difficile sans le secours du microscope ou de l'analyse chimique de distinguer ces diverses roches les unes des autres.

Le type leucocrate rappelle, comme aspect, celui de Nosy Komba, le mésocrate est caractérisé par un aspect porphyrique, dû à l'existence de gros cristaux de néphéline rosée, atteignant un centimètre ; ils sont cerclés par des feldspaths blancs, dans lesquels sont distribuées de petites aiguilles de hornblende. Cette roche est la plus néphélinique des roches à hornblende malgaches (*analyses* **241** et **242**).

L'augite titanifère verdissant sur les bords possède des formes géométriques ; les plagioclases y existent en petite quantité (labrador cerclé d'orthose sodique). La structure est franchement grenue. Par contre, sur la rive gauche du cours inférieur du torrent d'Andevenanaomby, se remarque une variété de cette même syénite dont les feldspaths sont aplatis. L'augite aegyrinique n'y a pas de formes propres ; quant à la hornblende, elle est presque entièrement transformée en un mélange d'augite et de magnétite. A signaler un peu d'apatite, de sphène, de rinkite et parfois d'aegyrine secondaire.

A Nosy Komba, lorsque ces monzonites néphéliniques deviennent riches en grands cristaux de hornblende, ceux-ci s'orientent parfois dans des directions parallèles, formant des traînées rubanées ; les types de ce genre existent soit à l'état indépendant, soit sous celui d'enclaves dans les syénites à hornblende leucocrates. Cette variété riche en minéraux colorés constitue aussi des roches pegmatoïdes, dans lesquelles les cristaux de hornblende ont plusieurs centimètres de longueur.

L'examen microscopique de toutes ces roches montre que souvent les cristaux de hornblende ont des faces moins nettes qu'il ne le semble au premier abord ; ils sont frangés sur leur périphérie et englobés dans la néphéline ; il existe toujours de l'augite violacée, verdissant sur les bords, de l'apatite, du sphène et de la magnétite titanifère.

Monzonites néphéliniques potassiques : **241**) Nosy Komba, II.5'.3.3' (Boiteau) ; *a*) Papenoo (Tahiti), II.'6.'2.3 (Pisani, *in* A. Lacroix, *Bull. soc. géol.*, t. X, 1910, p. 97) ; *b*) Kassa (archipel de Los), type à facies microsyénitique renfermant de la haüyne et du mélanite), II.6'.(1)2.3 (Pisani, *in* A. Lacroix, *op. cit.*).

Monzonites néphéliniques sodiques : **242**) Nosy Komba. II.6.2.4 (Pisani) ; **243**) Berondra : II.7.'2.4 (Pisani) ; **244**) II.6.'2.4 (M. Raoult).

	241	*a*	*b*	242	243	244
SiO^2	51,54	52,25	55,95	51,10	48,45	47,16
Al^2O^3	18,80	18,70	19,80	20,95	22,08	21,76
Fe^2O^3	2,67	2,55	0,91	0,90	1,90	3,44
FeO	3,88	3,69	1,98	5,58	3,37	2,97
MgO	3,33	1,78	1,20	2,81	1,68	1,15
CaO	8,00	3,95	2,66	5,35	7,23	6,38
Na^2O	4,13	5,10	5,58	6,35	8,30	7,78
K^2O	4,19	6,62	8,32	4,21	3,87	3,47
TiO^2	1,18	2,29	1,60	1,38	0,90	1,77
P^2O^5	0,29	0,20	0,30	0,18	0,52	0,24
H^2O +	1,57	2,75	1,00	0,87	2,25	2,92
—	0,24					0,73
	99,82	99,88	100,11[1]	99,68	100,55	100,11[2]

Ces monzonites ne renferment généralement, en fait de feldspath, que de l'orthose sodique, bien que l'analyse chimique révèle une quantité assez considérable d'anorthite virtuelle. Toutefois, dans certains cas, on voit apparaître des plagioclases appartenant généralement à un type acide, à fines macles et à extinctions presque longitudinales. J'ai décrit autrefois ces roches, sous le nom de ditroïtes mésocrates (*analyse* **242**) et je les ai comparées à la covite de Magnet Cove dans l'Arkansas. Il me serait opportun aujourd'hui de les considérer comme représentant, dans la série pétrographique qui nous occupe, l'homologue de la laurvikite dans celle des syénites ; c'est-à-dire comme des monzonites néphéliniques dont le plagioclase virtuel reste en partie à l'état potentiel, à la fois dans les feldspaths alcalins et dans les métasilicates. C'est une forme hétéromorphe des monzonites néphéliniques.

III. — ESSEXITES ET THÉRALITES

A. — *Essexites.*

Je désigne sous le nom d'*essexite* une roche répondant à la définition minéralogique de Sears[3], au sujet de la roche de Salem Neck, dans l'Essex C^y^, c'est-à-dire à une roche renfermant à la fois du feldspath alcalin, du plagioclase et de la néphéline. Elle diffère des monzonites néphéliniques sodiques en ce que le rapport de l'orthose (calculé) au plagioclase est plus petit que 0,6.

Un type exceptionnel par sa richesse en éléments blancs, forme, au milieu des schistes cristallins, un gisement qui n'a pas été vu en place, mais dont les débris se rencontrent sous forme de blocs dans la Sandrakoto, à son confluent avec la

1. Y compris SO^3 0,65 ; Cl 0,16.
2. Y compris Cl 0,13 ; CO^2, 0,21
3. *Bull., Essex Institute*, Salem, t. XXIII, 1891. Cette roche présente une tendance à la structure porphyrique.

Belambo ; c'est une roche à gros grain, de couleur claire, qui ne se distingue des syénites essexitiques que par la présence de plagioclases (andésine et labrador) cerclés d'orthose sodique (*analyse* **244**[bis]). En général, les essexites sont plus riches en éléments colorés et par suite de couleur plus foncée.

Quelques-unes d'entre elles sont franchement grenues [Nosy Komba (*analyse* **245**), bords de la Berondra (*analyse* **246**), Sandrakoto], mais, souvent aussi, elles sont caractérisées par l'aplatissement des plagioclases qui s'enchevêtrent comme dans les diabases et les foyaïtes : l'anorthose leur forme une bordure extérieure ou bien constitue des cristaux indépendants, soit distribués d'une façon uniforme, soit localisés par taches. En général, l'amphibole et l'augite automorphes accompagnées d'apatite et de titanomagnétite, parfois d'un peu d'olivine, sont antérieures aux feldspaths. La néphéline, la sodalite, avec généralement de l'analcime, remplissent les intervalles de ceux-ci. Il arrive que la néphéline forme de très larges cristaux, présentant la même orientation à travers un grand nombre de cristaux de plagioclases enchevêtrés ; le type de cette structure est réalisé sur les bords du Jangoa (*analyse* **247**) et dans les environs d'Ankaramy, où abondent les dykes d'essexites.

Dans d'autres cas, la néphéline constitue dans les intervalles des feldspaths, des cristaux nets et intacts, qui sont englobés par de l'analcime limpide et je me suis servi jadis de la fraîcheur de cette néphéline pour démontrer que l'analcime n'est pas d'origine secondaire et qu'elle doit être considérée comme produite dans une dernière période, pneumatolytique, de la formation de la roche.

Entre Ankaramy et l'arête de nordmarkite de Maromiandra, et à environ 4 kilomètres de cette dernière, se rencontrent des essexites hétérogènes, à grain moyen ou à grain fin, riches en traînées ou en veines blanches, qui résultent de différenciations sur place comparables à celles qui ont été signalées plus haut à la fois dans les syénites et dans les syénites néphéliniques par augmentation de la teneur en minéraux colorés, au milieu d'un fond feldspathique de même nature.

J'ai rencontré dans les essexites à structure foyaïtique, les mêmes variétés structurales que dans les syénites néphéliniques et les diabases. Le remplissage des intervalles des plagioclases enchevêtrés se fait alors par des agrégats de microlites d'orthose, entourés par la néphéline et l'analcime. Parfois la continuité de la trame plagioclasique est rompue ; c'est un passage à des sortes de roches microlitiques, dans lesquelles le plagioclase, devenu libre, forme des phénocristaux.

B. — *Théralites.*

Quand, dans les essexites, la teneur en feldspaths alcalins diminue, la roche

passe à la théralite, dont les types tout à fait caractéristiques sont à peu près complètement dépourvus de feldspaths autres que les plagioclases.

Je rapporte aux théralites, ainsi comprises, quelques filons des ravins d'Ankaramy, notamment de Bekinkiny (*analyse* **248**) et certaines des enclaves de la syénite néphélinique à hornblende de Nosy Komba (*analyse* **248** bis) ; elles ne se distinguent par aucun caractère extérieur des essexites, sauf que la hornblende y est plus abondante.

C. — *Composition chimique des essexites et des théralites.*

Voici plusieurs analyses d'essexites et de théralites malgaches, avec quelques types de comparaison étrangers.

Essexites : **244**) Sandrakoto, 'II.'6.2.4 (Boiteau) ; **245**) Nosy Komba II.5(6).2(3).4 (Pisani) ; **246**) Bords de la Berondra, II.6.2'.4 (Pisani) ; **247**) Jangoa, II.6.'3.4 (Pisani) ; *a*) Vallée de Papenoo (Tahiti), II,'6.(2)3.4 (Pisani, *in* A. Lacroix, *op. cit.*) ; *b*) Salem Neck (Mass.), II'.6.2.4, Washington (*J. of. Geology,* t. VII, 1899, p. 57).

Théralites : **248**) Bekinkiny, II.7.2.4. (Pisani) ; *c*) Flurhübe, près Duppau (Bohême), III.(6)7.2.4' (Tertsch, *in* F. Bauer, *Tschermak's miner. u. petr. Mitt.*, t. XXII, 1903, p. 281) ; **248** *bis*) Nosy Komba (enclave dans syénite néphélinique) 'III.6.2.4 (Raoult).

	244 bis	245	246	247	*a*	*b*	248	*c*	248 bis
SiO^2	53,42	53,10	46,40	47,90	47,50	46,99	43,60	44,42	48,44
Al^2O^3	20,20	20,15	20,01	19,85	19,97	17,94	14,07	13,33	14,38
Fe^2O^3	2,65	1,15	4,07	1,05	3,39	2,56	3,42	9,14	3,94
FeO	2,77	5,75	4,95	5,49	4,74	7,56	7,85	6,35	8,22
MgO	2,20	3,05	2,75	4,21	3,60	3,22	6,86	5,74	4,91
CaO	5,12	6,74	8,44	8,56	6,92	7,85	11,62	10,60	9,08
Na^2O	6,85	5,65	6,29	4,85	5,25	6,35	5,05	5,60	5,19
K^2O	3,87	2,56	2,71	3,21	3,47	2,62	1,88	1,81	2,55
TiO^2	1,39	1,41	2,57	3,60	2,96	2,92	3,16	1,63	2,01
P^2O^5	0,11	0,25	0,26	0,34	0,44	0,94	0,13	0,35	0,31
H^2O + / —	0,72 / 0,28	0,62	1,25	1,15	2,25	0,65	1,75 / 0,48	1,75	0,91 / 0,09
	99,76[1]	100,43	99,70	100,21	100,49	99,60	100,29[2]	100,90[3]	100,03

b. — **Essexites sodiques lamprophyriques.**

J'ai recueilli dans la région d'Andavakoera à l'Ouest de Betankilotra (dyke) une roche noire, à facies basaltique, qui, au microscope, présente la même composition que

1. Y compris MnO 0,18.
2. Y compris MnO 0,42.
3. Y compris S 0,18.

les camptonites décrites page 653, mais avec, en plus, une grande quantité d'une substance incolore que la petite quantité d'eau indiquée par l'analyse ci-contre ne permet pas de considérer comme de l'analcime. C'est donc un verre, à peine hydraté ; l'*analyse* **249** (Boiteau) conduit aux paramètres II.6.2'.5 qui ne correspond à aucune roche éruptive connue. Cette roche est remarquable par sa richesse en soude et sa pauvreté en potasse ; il faut la rattacher aux essexites comme une forme lamprophyrique persodique. Parmi les roches actuellement analysées, celle qui s'en éloigne le moins est le basalte analcimique de Scano (Monte Ferru, Sardaigne), analysé par M. Washington [1] [analyse *a*) III.(5)6.2,5] ; toutefois cette roche est beaucoup plus mélanocrate et par suite moins riche en alumine, en alcalis, beaucoup plus magnésienne et un peu plus calcique ; la teneur en titane et en acide phosphorique est en outre beaucoup plus élevée.

La butte d'Antangaina, près de Betankilotra, est traversée par un gros dyke d'une roche grise ou rosée, renfermant des baguettes porphyriques de hornblende noire. Au microscope, l'on constate que de grands cristaux de labrador (zonés de plagioclases acides et d'orthose), et de hornblende automorphe sont entourés de petits rectangles d'andésine, cerclés d'oligoclase et d'orthose prédominantes, avec un peu d'augite et de magnétite. Ailleurs, la roche est doléritique, avec une tendance ophitique ; elle renferme alors un peu de biotite. Dans tous les cas, les intervalles miarolitiques sont remplis par de l'analcime qui imprègne tous les feldspaths ; elle est accompagnée de sphène et de calcite secondaire. L'origine de l'analcime prête aux mêmes réflexions que dans la bekinkinite. L'*analyse* **250** conduit aux paramètres II.5(6).(1)2.4(5). C'est celle d'une essexite analcimique.

	249	*a*	250
SiO^2	47,10	44,85	51,58
Al^2O^3	18,93	12,55	16,64
Fe^2O^3	5,29	3,33	5,84
FeO	4,71	5,30	2,67
MgO	4,63	10,27	2,84
CaO	7,43	8,32	4,92
Na^2O	6,99	4,77	7,54
K^2O	0,87	0,72	1,91
TiO^2	2,36	5,07	1,99
P^2O^5	0,64	1,17	0,84
H^2O +	0,70	2,01	2,45
−	0,43	0,95	0,39
	100,08	99,61 [2]	100,12 [3]

1. *Bull. Soc. geol. Ital.*, t. XXXIII, 1914, p. 153, et *J. of geol., (op. cit).*
2. Y compris MnO 0,07 ; NiO 0,23.
3. Y compris Cl 0,09 ; CO^2 0,32.

C. — *Berondrites.*

Il m'a paru nécessaire de détacher des théralites à hornblende, telles qu'elles ont été décrites plus haut, des roches dépourvues de feldspaths alcalins, ou n'en renfermant que fort peu et qui contiennent un plagioclase plus basique (labrador-bytownite), avec moins de néphéline. Au point de vue chimique, ces roches contiennent moins d'alcalis que les théralites ; leurs paramètres magmatiques sont III.6.3.4. Je les ai appelées berondrites [154], du nom du petit fleuve de la province d'Ampasindava, le long duquel elles prennent un grand développement.

Les berondrites ont le même aspect extérieur que les théralites et les essexites malgaches, mais les longs prismes (1 à 2 centimètres de hornblende noire à clivage éclatant) y sont plus abondants. Elles sont parfois (Nosy Komba) parcourues par des veines pegmatiques, moins mésocrates, à grands éléments, dans lesquelles les cristaux de hornblende atteignent la dimension du doigt ; au microscope, l'on constate assez souvent dans cette amphibole des phénomènes de résorption en augite titanifère et en titanomagnétite.

Le plus important des gisements de berondrite se trouve au confluent de la Berondra et du torrent d'Andevenanaomby (*analyse* **255**) ; des têtes de rocher apparaissent notamment dans la Berondra ; il m'a été impossible de trouver leur contact avec la syénite à hornblende du voisinage. Cette roche renferme de larges taches plus mélanocrates dont il va être question plus loin.

Dans le massif même de Bezavona (chaînon Antsohanina-Ampiambesany), se trouve une berondrite à plus petits éléments constituant un facies de variation d'une syénite ; c'est sous la même forme qu'elle existe au milieu de la syénite néphélinique de Bekinkiny.

Des filons indépendants de berondrite de grain varié, sont à signaler dans la région Ankaramy-Miharena.

Enfin j'ai recueilli des variétés, à très grands éléments, presque pegmatiques, à Andrekareka, au Sud d'Ambodimadiro.

A Nosy Komba, nous retrouvons des berondrites comme facies de variation de syénites néphéliniques à hornblende et aussi comme roches hybrides, produites par l'endomorphisme de ces syénites injectées dans un gabbro amphibolique (*analyse* **272**). Leurs feldspaths sont très zonés allant de l'oligoclase-albite à l'anorthite ; l'olivine n'est pas rare, l'augite est très titanifère ; il existe généralement des cristaux de hornblende, moins allongés suivant l'axe vertical que dans le type normal ; ils sont poecilitiques par rapport aux autres minéraux ; il en résulte que les berondrites de cette île ont un aspect extérieur rappelant plus celui des gabbros que

celui des roches de la Berondra. Dans quelques cas, les minéraux colorés, à l'inverse de ce qui vient d'être dit, ont une tendance à cristalliser après les feldspaths et à prendre par conséquent une structure ophitique (*analyses* **251** et **253**).

Enfin, il me reste à signaler l'existence de blocs de berondrite à grands éléments, dans le lit de la Sandrakoto, au gué de la route de Bejofo et au confluent de cette rivière et de la Sandrakotokely.

Les berondrites sont souvent très fraîches, mais il y a lieu cependant de signaler dans quelques gisements, d'une part la transformation des minéraux blancs en analcime dont il sera question page 637, et d'une autre, un type d'altération différent consistant dans la production, aux dépens du plagioclase, d'une grande quantité de prehnite [1], avec ou sans épidote (notamment aux environs de Miharena).

Enclaves dans la berondrite. — La berondrite de la Berondra renferme sous forme d'enclaves, un facies de variation à structure porphyrique, de couleur noire, constitué par de grands cristaux automorphes de hornblende, raccourcis suivant l'axe vertical et englobés dans un agrégat de cristaux nets d'augite titanifère et de hornblende, qu'enveloppent de larges plages de plagioclases et de néphéline. Les plagioclases sont parfois cerclés d'un peu d'orthose sodique, surtout à la périphérie de ces sortes d'enclaves. Les cristaux porphyroïdes de hornblende sont en partie postérieurs aux autres minéraux colorés que, sur leurs bords, ils enveloppent poecilitiquement ou ophitiquement; les minéraux enveloppés, notamment les plagioclases, ont alors des formes nettes. L'apatite, la magnétite (ilménite) sont abondantes ; il existe un peu d'olivine, entourée par une couronne pyroxénique (*analyse* **254**).

Il me reste à signaler d'autres enclaves dont la structure a une tendance microlitique, avec phénocristaux d'augite et de labrador et quelques microlites d'orthose.

Composition chimique. — Je donne ci-contre l'analyse de quelques berondrites, auxquelles j'ai joint celle d'une roche similaire accompagnant les syénites néphéliniques de Montréal au Canada ; cette roche renferme des facies de variation plus basiques qui ont reçu le nom de *montréalite* ; par leur composition virtuelle, les berondrites du Canada se rapprochent des *mareugites* [2] du Mont Dore, qui en diffèrent minéralogiquement en ce que leur feldspathoïde est de la *haüyne*.

Analyses de *berondrites* : **251**) Nosy Komba (II)(III).6.3.4′ (Pisani) ; **252**) Nosy Komba, III.′6.3.4′ (Boiteau) ; **253**) *Idem* (pegmatique), II(III).6.3.4 (Boiteau) ;

1. Ce genre de transformation est fréquent dans une roche que je rapporte à la berondrite et qui constitue des filons dans une péridotite post-crétacée d'Adé (Basses-Pyrénées) (*C. Rendus*, t. CLXX, 1920, p. 685).
2. A. Lacroix. *C. Rendus*, CLXIV, 1917, p. 587.

254) Berondra (enclave), III.6'.3.4 (M. Raoult); **255**) Berondra (type normal). III.6(7),3'.4 (Raoult) : *a*) Montréal (Canada), III.'6.'4.4 (Connor, *in* Adams, XIIe Congrès géol. intern. *Guide* n° 3, 1913, p. 39) ; *b*) *Montréalite, Idem,* III(IV) [5'.4.4]2.2.2.2. (Connor, *Idem*) ; *c*) *Mareugite,* Col du Train (Puy de Dôme). (Pisani, *in* A. Lacroix, *op. cit.*), II(III).5'.4.(4)(5).

	251	252	253	254	255	*a*	*b*	*c*	*d*
SiO^2. . .	46,60	46,79	43,16	43,60	40,60	43,10	44,66	40,51	
Al^2O^3. . .	17,40	16,47	18,61	14,60	16,56	13,94	9,64	20,40	
Fe^2O^3. . .	2,10	3,13	2,93	5,04	5,88	4,92	4,98	5,24	
FeO. . .	4,50	6,05	6,73	7,13	6,89	6,93	6,65	6,90	
MgO. . .	5,97	6,60	5,34	5,22	5,52	8,86	12,83	5,38	
CaO. . .	13,40	12,50	11,46	14,62	14,24	14,65	13,11	12,40	
Na^2O. . .	4,42	3,78	3,98	3,51	2,93	2,50	2,07	2,95	
K^2O. . .	1,45	1,14	2,20	2,05	1,80	0,89	1,17	0,70	
TiO^2. . .	2,96	2,12	2,71	3,40	3,80	2,80	2,27	3,07	
P^2O^5. . .	0,80	0,27	1,21	0,28	0,65	0,27	0,24	0,29	
H^2O + . .	0,93	0,89	1,44	0,65	1,03	0,55	0,79	2,50	
— . .		0,30	0,05	0,14	0,14	0,15	0,11		
	100,53	100,04	99,82	100,24	100,04	100,62 [1]	99,40 [2]	100,62 [3]	

D. *Mafraïtes.*

J'ai donné ce nom [154] à un type hétéromorphe de la berondrite, constitué uniquement par du plagioclase basique (labrador-bytownite) et par beaucoup d'une hornblende noire, avec ou sans augite titanifère ; la magnétite titanifère, l'apatite, le sphène sont des minéraux accessoires constants. La hornblende forme de gros cristaux, allongés suivant *c* ou des plages isométriques.

La composition chimique de la mafraïte est celle de la berondrite (III.6.3.4). La néphéline n'est pas exprimée, elle reste à l'état potentiel, grâce à l'abondance de la hornblende, à la fois très pauvre en silice, riche en alumine, et notablement sodique.

Les mafraïtes sont, à Madagascar, des facies de variation des roches de la famille des berondrites : elles sont à très grands éléments et souvent pegmatiques (Nosy Komba, Andrekareka).

Je n'ai pu faire analyser aucun échantillon de ce type, tous ceux que j'ai recueillis, malgré leur apparence de grande fraîcheur, étant riches en minéraux secondaires : épidote, prehnite, damourite, formés aux dépens des plagioclases. A défaut d'analyses de roches malgaches, je donne ci-contre celle des roches portugaises qui m'ont servi à établir ce type pétrographique.

1. Y compris MnO 0,14 ; S 0,22 ; CO^2 0,64 ; BaO 0,03 ; SrO 0,03.
2. Y compris MnO 0,19 ; FeS^2 0,22 ; CO^2 0,37 ; Cl 0,07 ; SrO 0,03.
3. Y compris Cl 0,13 ; SO^3 0,15 ; la haüyne étant en partie altérée, la roche a perdu de la soude.

a) Rio Touro (Portugal) III.(5)6.3'.4 ; *b*) Tifão de Mafra III.6.3.4.

	a	*b*
SiO^2	43,54	45,72
Al^2O^3	16,66	15,62
Fe^2O^3	2,36	3,15
FeO	7,43	9,51
MgO	7,20	5,31
CaO	11,10	10,92
Na^2O	3,31	4,13
K^2O	1,43	1,75
TiO^2	5,40	3,01
P^2O^5	0,72	0,46
H^2O +	1,05	0,55
—	0,12	0,11
	100,32	100,24

E. — *Luscladites.*

J'ai désigné sous ce nom [154] des roches n'ayant plus le facies minéralogique de la série syénito-essexitique, bien que s'y rapportant au point de vue chimique : elles ont un facies de gabbro, mais avec une composition chimique très analogue à celle des berondrites, malgré une composition minéralogique différente. Elles ne contiennent généralement pas de hornblende, mais elles renferment toujours de l'olivine, de l'augite et d'ordinaire de la biotite. La structure est celle des gabbros hypéritiques scandinaves ; des lames de plagioclases basiques, frangés d'orthose, sont empilées plus qu'enchevêtrées ; la néphéline remplit leurs intervalles, elle est souvent peu abondante ; la luscladite est généralement néphélinifère plutôt que néphélinique ; elle passe ainsi au gabbro. L'augite titanifère est, en partie, postérieure aux plagioclases.

J'ai trouvé pour la première fois cette roche, à l'état de blocs des produits de projection volcaniques du ravin de Lusclade, au Mont-Dore, puis à Tallagueira (Portugal) (filons dans le Crétacé), dans la vallée de Papenoo (Tahiti) (intrusions dans les basaltes) ; je lui ai assimilé la roche de Crawfordjohn, en Écosse.

A Madagascar, la luscladite forme un dyke à Andengodroa, près Irony, à l'Est-Sud-Est d'Analalava, au milieu des gneiss, mais à proximité de la région sédimentaire : ce gisement fait certainement partie de la province pétrographique d'Ampasindava. Je connais encore la même roche en dykes au milieu des schistes cristallins d'Antsiatsia (Haut Bemarivo du Nord-Est). Enfin, je l'ai trouvée à l'état de blocs projetés dans les tufs trachytiques du cratère de Ziani, dans l'île de Pamanzi (Comores) (*analyse* **256**). Dans tous ces gisements, ces roches présentent fort peu de variations.

Un type plus mélanocrate que les roches des gisements précédents, constitue le dyke d'Andrarivatonanahary, à la montée de Fiakarantsoa, au Nord de Betafo. C'est un dyke remarquable, visible sur un kilomètre, avec une puissance de 1 à 2 mètres ; il fait une saillie de plusieurs centaines de mètres au-dessus des gneiss. Des échantillons ont été recueillis, d'une façon indépendante, en des points différents du dyke par M. Auclair, M. Perrier de la Bathie et le P. Muthuon ; ils montrent que tandis que le centre du dyke est grenu, le bord possède une structure porphyrique.

De gros cristaux noirs d'augite, de près de 1 centimètre, sont distribués dans une masse grise, finement grenue. Au microscope, l'on distingue les minéraux énumérés plus haut, mais la néphéline et l'orthose sont plus abondantes ; l'augite, l'olivine et la titanomagnétite forment en partie des phénocristaux qu'enveloppent de gros microlites d'augite, de labrador, d'orthose, englobés par des cristaux nets de néphéline (*analyse* **257**). On peut considérer cette luscladite comme constituant une forme doléritique qui conduit aux basanites. Cette transition est encore plus évoluée dans un échantillon recueilli à 1 kilomètre au Nord du mont Ambohitsampana (Nord-Nord-Est de Betafo) et qui est une véritable basanite.

Par sa richesse en minéraux colorés, la roche de Fiakarantsoa se rapproche de la kylite d'Écosse, mais celle-ci est un terme très magnésien et moins calcique de cette série, elle conduit à de véritables péridotites.

Analyses : **256**) Cratère de Ziani (Comores), III.'6.3.4 (Raoult) ; *a*) Craighead, près Crawfordjohn (Écosse), III.'6.'3.4 (A. Scott, *in* G.-W. Tyrrell, *Geol. Magaz.*, t. XI, 1912, p. 121) ; *b*) Font des Vaches (Cantal), III.6.3.4 (Pisani, *in* A. Lacroix) ; *c*) Ravin de Lusclade (Mont Dore), III.'6.3.'4 (Pisani, *in* A. Lacroix) ; **257**) Fiakarantsoa, III(IV)[7.3.4']2.'2.2'.3 (Raoult) ; *d*) Kylite, Beabeoch (Écosse), (III)IV[6.3.4]1.3'.'2.2 (Dittrich, *in* Tyrrell, *op. cit.*).

	256	*a*	*b*	*c*	257	*d*
SiO^2	45,10	44,37	46,31	44,95	41,20	44,18
Al^2O^3	14,58	14,19	14,90	15,09	12,11	10,67
Fe^2O^3	3,47	3,12	1,77	2,30	5,00	0,97
FeO	9,10	7,28	8,98	9,61	11,01	10,03
MgO	7,20	7,84	8,15	9,25	8,68	17,77
CaO	10,96	12,68	9,51	10,47	13,70	9,75
Na^2O	3,86	3,86	4,06	2,82	3,19	2,37
K^2O	1,57	1,92	1,62	2,02	0,87	1,23
TiO^2	2,42	2,37	3,00	3,02	3,68	1,30
P^2O^5	0,63	0,83	0,32	0,51	0,31	0,38
H^2O +	0,85	1,23	1,38	0,37	0,35	0,97
—	0,17	0,24			0,09	
	99,91	100,17[1]	100,00	100,41	100,19	99,62

1. Y compris MnO 0,24.

F. — *Roches théralitiques à analcime.*

a. — Monchiquites.

Les monchiquites sont des roches à grain fin, noires, à facies lamprophyrique, constituées par des phénocristaux et des microlites d'augite, d'amphibole brune et de magnétite titanifère, avec, assez rarement (à Madagascar), de l'olivine ; ces minéraux sont distribués dans un fond incolore, isotrope, constitué par de l'*analcime* primaire. Les roches répondant à cette définition sont assez abondantes dans la région d'Ankaramy, en filons dans les grès. Quelquefois on voit apparaître, en petite quantité, des feldspaths, monocliniques ou tricliniques, et un peu de néphéline.

Des roches analogues, mais à plus grands éléments et relativement pauvres en minéraux colorés, se rencontrent dans le massif de Bezavona ; les aiguilles noires de hornblende ressortent sur un fond dont la couleur gris verdâtre est due à une profonde altération de la pâte qui est très zéolitisée. Sur les flancs de la montagne d'Antsohanina, un filon d'une roche analogue est un peu feldspathique. L'intérêt de ces roches réside dans l'existence de grandes géodes tapissées de beaux cristaux d'analcime, associés à de la prehnite et à de l'épidote.

Les syénites néphéliniques du massif d'Antsohanina et celles du voisinage de la Berondra sont traversées par des veinules ramifiées de quelques centimètres d'épaisseur dont le centre est pierreux et noir, alors que les bords sont vitreux et d'un vert bleuâtre. Au microscope, l'on ne voit guère au milieu d'un verre brunâtre que des cristallites de magnétite et d'augite, accompagnés, au centre des filonnets, par des baguettes de hornblende brune. Ces roches paraissent être une forme vitreuse du type précédent.

b. — Bekinkinites.

En outre des roches décrites plus haut, la région gréseuse liasique des environs d'Ankaramy (Bekinkiny, Vinanitelo, Maromiandra, Miharena) renferme un nombre considérable de dykes de roches noires, à gros grain, à grain moyen ou à grain fin, quelquefois porphyriques, caractérisées par l'existence de la hornblende noire (très allongée ou raccourcie suivant l'axe vertical), caractéristique de la série syénito-

théralitique. L'examen microscopique fait voir que cette amphibole est toujours accompagnée d'augite titanifère dont les cristaux sont plus petits que les siens dans les variétés porphyriques.

Le minéral blanc essentiel et constant est l'*analcime* ; on peut se demander si ce minéral n'est pas primaire et s'il ne s'agit pas là de monchiquite ou d'une forme grenue de celle-ci. C'est sous ce nom que j'ai jadis décrit ces roches. Mais dans beaucoup d'entre elles, et particulièrement dans les types à gros grain, se voient, au milieu de l'analcime, des lambeaux déchiquetés de néphéline, de plagioclase, d'orthose sodique ou de néphéline. L'examen microscopique ne laisse pas de doute à cet égard, l'analcime est un minéral secondaire, formé aux dépens de silicates préexistants, mais la question qui se pose est de savoir s'il s'agit là d'une formation pneumatolytique, datant d'une période de pneumatolyse destructive ou bien d'une production secondaire, d'origine superficielle. C'est la question qui se présente chaque fois que l'on discute une roche à analcime. Sans vouloir prendre parti d'une façon définitive, je ne puis m'empêcher de faire remarquer que, lorsque, dans les syénites néphéliniques et dans les essexites, il existe de l'analcime, celle-ci englobe fréquemment des cristaux de néphéline intacte et que, par conséquent, sa production a suivi celle de la néphéline, sans qu'il y ait eu discontinuité dans les conditions physiques de la cristallisation, l'analcime s'est formée au moment où le magma était en voie de refroidissement. Je sais bien que l'on pourrait objecter que dans les druses des pegmatites sodolithiques, l'albite et la bityite et parfois la rubellite se rencontrent aussi bien à la fin de la phase de pneumatolyse constructive que dans la phase destructive qui la suit.

Quoi qu'il en soit, il est facile de voir, à l'aide des analyses données ci-contre (**261** à **265**), que les roches qui nous occupent n'ont pas d'individualité chimique. Elles appartiennent à tous les termes de la série qui vient d'être étudiée : essexites, théralites, berondrites, peut-être même fasinites. Puisque le terme de bekinkinite est vacant (Cf. page 644), je l'emploie pour désigner les roches grenues de la famille des théralites *analcimisées* et il me semble qu'il serait possible de se servir du terme de *teschénite* pour distinguer les roches à facies diabasique de la même famille qui ont subi le même genre de transformation. Une semblable nomenclature peut d'ailleurs être adoptée sans qu'on la lie à la question théorique de l'origine de l'analcime.

Je donne ci-contre, en outre des analyses des roches malgaches, celle (*a*) d'une roche d'Écosse, décrite par M. Tyrrell et qui a une composition chimique un peu différente la rapprochant des *mareugites* du Mont-Dore.

Analyses : **261**) Bekinkiny, III.'8.2.'5 (Pisani) ; **262**) *Idem*, III.7.2.4 (Pisani) (forme à grain fin) ; **263**) Vinanitelo, III.6(7).3.4 (Pisani) (variété à grain fin) ; **264**) Maromiandra, III.6(7).2.4 (M. Raoult) ; *a*) Barshaw (Ecosse), III.(5)6.4.(4)5 (Radley, *in* Tyrrell, *Geol. Magaz.*, t. II, 1915, p. 458) ; enfin **265**) Maromiandra (type essexitique leucocrate), II.5.2(3).4 (M. Raoult).

	261	262	263	264	*a*	265
SiO^2	42,20	43,60	43,35	42,50	40,87	53,64
Al^2O^3	14,11	13,60	15,70	15,35	16,23	16,00
Fe^2O^3	3,15	3,95	2,00	5,04	1,31	4,28
FeO	8,05	6,95	8,70	7,24	7,37	3,71
MgO	5,91	10,20	6,38	4,10	9,83	3,02
CaO	13,20	12,10	11,60	10,36	11,13	5,92
Na^2O	5,80	3,74	4,09	5,15	2,78	4,12
K^2O	1,14	0,69	1,70	2,35	0,53	3,18
TiO^2	2,65	2,44	2,57	2,72	2,85	2,38
P^2O^5	0,10	0,43	0,09	0,79	0,52	0,31
H^2O +	3,40	2,75	3,45	3,75	1,35	2,36
—	0,70			0,45	4,28	0,54
	100,71 [1]	100,45	99,93 [1]	99,88 [2]	100,34 [3]	100,03 [4]

Il me reste à discuter une roche à aspect très différent des précédentes que j'ai recueillie à une heure de marche au Nord de Manongarivo, sur le sentier d'Ankaramy ; elle forme au milieu de grès liasiques un assez gros affleurement (probablement un dyke). C'est une belle roche, caractérisée par la très grande abondance de cristaux vitreux d'un blanc verdâtre de plagioclase, aplatis suivant g^1 (p, m, t, g^1, a^1, $a^{1/2}$) ; ils atteignent 1 centimètre et sont distribués dans une pâte grise, finement cristalline, riche en paillettes de biotite. Au microscope, l'on constate qu'ils appartiennent au labrador-bytownite ; dans la pâte se trouvent de gros microlites d'un feldspath triclinique, à extinctions presque longitudinales, associés à de l'orthose sodique, qui englobe quelques rares phénocristaux d'augite, des lames dentelliformes de biotite et des grains de titanomagnétite. Ces feldspaths sont enchevêtrés et leurs intervalles remplis par de l'analcime. Le feldspath virtuel moyen renferme 40 pour 100 d'anorthite. D'après l'analyse ci-jointe, les paramètres magmatiques sont II.5.3.4 avec une petite quantité de néphéline virtuelle ; au point de vue chimico-minéralogique cette roche est à la frontière des familles des diorites et des théralites.

1. Y compris MnO 0,30.
2. Y compris CO^2 0,08.
3. Y compris CO^2 0,38 ; MnO 0,64 ; (Co, Ni)O 0,06 ; FeS^2 0,21.
4. Y compris CO^2 0,39 ; MnO 0,18.

Analyse (M. Raoult):

	266
SiO^2	49,92
Al^2O^3	19,60
Fe^2O^3	1,87
FeO	5,14
MgO	3,30
CaO	8,50
Na^2O	4,29
K^2O	1,82
TiO^2	1,40
P^2O^5	0,48
H^2O +	3,03
—	0,13
Cl	0,25
S	0,12
	99,85

G. — ***Les enclaves homœogènes basiques des syénites et des essexites.***

Dans les paragraphes précédents, j'ai signalé une série de cas dans lesquels des syénites ou des syénites néphéliniques renferment des enclaves homœogènes basiques, constituées par la concentration de minéraux ferromagnésiens normaux de la roche et particulièrement de l'amphibole brune et du pyroxène. Ce sont là des étapes incomplètes de différenciation, effectuées dans le magma postérieurement à sa mise en place et permettant de comprendre les relations existant entre les divers types constituant la province pétrographique.

Il me paraît intéressant de mettre en regard les analyses de quelques-unes de ces roches et de leurs enclaves ; leur comparaison montre que la différenciation s'est effectuée suivant le même plan : diminution de la teneur en silice et généralement de l'alumine, des alcalis (la potasse diminuant plus vite que la soude), alors qu'au contraire augmentent le fer, le titane, la magnésie et la chaux. Cette différenciation s'explique par des concentrations locales des phénocristaux en voie de cristallisation dans le magma.

Analyses : **267**) *Syénite à enclaves,* Andevenanaomby I(II).5′.2.(3)4 ; **268**) enclave berondritique, II(III).(5)6.3.(3)4 (Pisani) ;

269) *Syénite néphélinifère,* Nosy Komba, II.5.1.3 ; **270**) enclave théralitique, ′III.6.2.4. Nosy Komba (M. Raoult).

271) *Monzonite néphélinique,* II.5.3.3′ ; **272**) enclave berondritique, III,′6.3.4′ ; Nosy Komba (M. Raoult).

	267	268	269	270	271	272
SiO^2	54,20	42,60	56,22	48,44	51,54	46,79
Al^2O^3	19,90	17,20	17,92	14,38	18,80	16,47
Fe^2O^3	2,60	4,55	2,44	3,94	2,67	3,13
FeO	3,65	7,60	3,85	8,22	3,88	6,05
MgO	1,41	4,28	1,58	4,91	3,33	6,60
CaO	3,12	9,22	5,42	9,08	8,00	12,50
Na^2O	5,42	3,43	6,36	5,19	4,13	3,78
K^2O	4,82	2,91	3,93	2,55	4,19	1,14
TiO^2	1,15	3,50	0,94	2,01	1,18	2,12
P^2O^5	0,23	1,31	0,27	0,31	0,29	0,27
H^2O +	3,37	4,25	1,02	0,91	1,57	0,89
—			0,26	0,09	0,24	0,30
	99,87	100,85	100,21	100,03	99,82	100,04

Des phénomènes de différenciation de même nature sont connus depuis longtemps dans les syénites néphéliniques de la Serra de Monchique au Portugal : elles viennent d'être étudiées par M. Pereira de Souza ; elles conduisent à des conclusions de même ordre que celles pouvant être déduites des analyses données ci-dessus.

H. — *Formation de roches hybrides.*

Sur les côtes Nord, Est et Ouest de Nosy Komba, notamment près d'Ampangorinana et d'Antamotamo, j'ai recueilli un certain nombre d'observations [135] qui peuvent s'expliquer par un phénomène inverse de celui étudié dans le paragraphe précédent. Elles montrent que divers termes de la série théralitique prennent naissance par endomorphisme de syénites néphéliniques leucocrates, injectées au milieu de roches basiques, postérieurement à leur mise en place.

A Antamotamo, l'essexite, à son contact immédiat avec les marnes liasiques, apparaît fissurée, divisée en petits blocs anguleux de quelques décimètres ou moins ; ceux-ci ont conservé leurs relations mutuelles et sont réunis par une syénite néphélinique presque hololeucocrate ; les veinules de cette roche sont tantôt intactes, et tantôt localement plus ou moins riches en amphibole ; le contact immédiat avec les sédiments est formé par une zone de plusieurs mètres constituée par une roche extraordinairement hétérogène, en continuité avec les filonnets dont il vient d'être question. Elle varie comme composition ; ici, elle est complètement blanche, là de plus en plus riche en amphibole ; elle varie comme structure, en certains points finement grenue, comme dans les veinules, ailleurs elle est pegmatique ; ces divers facies passent insensiblement l'un à l'autre et renferment des fragments d'essexite intacte.

En d'autres points, la syénite constitue, soit dans les essexites (côte Est), soit

dans les gabbros amphiboliques (côte Ouest) des filons bien réglés, renfermant une quantité considérable d'enclaves arrondies, appartenant à la roche traversée, ou des types d'apparence différente et souvent variés dans un même filon qui paraissent, dans bien des cas, être le résultat de la recristallisation de fragments de la roche traversée. La proportion des enclaves peut être supérieure à celle de la syénite qui les relie ; celle-ci est souvent intacte, les enclaves ont alors des contours nets ; dans d'autres cas, il se produit un phénomène de l'ordre de celui décrit plus haut, les enclaves se dissolvent progressivement dans la syénite qu'elles endomorphisent.

Les phénomènes qui viennent d'être décrits se produisent sur une grande échelle ; la vue des rochers en place de Nosy Komba ou des amoncellements de blocs, aux dimensions colossales, qui les bordent, et dont la composition et la structure changent à chaque pas, est un des spectacles les plus stupéfiants que j'ai eu l'occasion d'observer.

Afin de préciser les caractères chimiques des transformations dont il vient d'être question, j'ai choisi un bloc montrant le passage de la syénite néphélinique leucocrate et du gabbro amphibolique. Je donne ci-dessous l'*analyse* : **273**) de la syénite, I.6.1'.'4 ; **274**) du gabbro, III.5'.4.4 et **275**) de la zone mixte, II.5'.3.3', qui est constituée par une *monzonite néphélinique,* et enfin *a*) la composition résultant du mélange, en parties égales, de **273**) et de **274**).

On voit que, sauf en ce qui concerne l'alumine, qui est un peu trop faible, la roche mixte peut bien être regardée comme résultant du mélange des deux extrêmes. Ainsi que je l'ai fait remarquer à l'occasion de la dissolution de calcaires dans les granites à riebeckite, les phénomènes de ce genre ne se produisent pas en vase clos, ils sont accompagnés de fixation d'éléments volatils, de différenciations locales qui viennent compliquer le phénomène, pour l'explication duquel on ne peut espérer que des démonstrations numériques approximatives.

	273	274	275	*a*
SiO^2	55,95	44,44	51,54	50,20
Al^2O^3	22,96	18,16	18,80	20,56
Fe^2O^3	0,86	5,97	2,67	3,42
FeO	1,10	5,34	3,88	3,22
MgO	0,25	5,59	3,33	2,92
CaO	1,71	14,03	8,00	7,87
Na^2O	7,17	2,12	4,13	4,65
K^2O	6,43	0,74	4,19	3,59
TiO^2	0,33	2,71	1,18	1,52
P^2O^5	0,10	0,22	0,29	0,16
H^2O +	2,55	0,70	1,57	1,63
—	0,35	0,07	0,24	0,22
	99,76	100,09	99,82	99,96

Ces phénomènes rentrent dans la catégorie de ceux qui ont été étudiés par M. A. Harker en Écosse et qui donnent naissance à ce qu'il a appelé des roches hybrides[1].

Des phénomènes analogues peuvent être observés aux environs de Boston, dans la région de l'Essex County, rendue célèbre par les travaux de Sears, de M. Washington et de M. Warren. Accompagné par ce dernier, j'ai eu l'occasion, en 1913, d'étudier sur place cette intéressante région. Dans un mémoire récent[2], M. Ch.-A. Clapp a proposé, pour expliquer la genèse de l'essexite, une hypothèse semblable à celle qui est donnée ici (réaction d'un gabbro amphibolique sur une syénite néphélinique).

1. *The Natural History of Igneous Rocks*, 1909, p. 342.
2. Geology of the igneous rocks of Essex County, Mass., *U. S. geol. Survey Bull.*, n° 704, 1921, p. 124.

CHAPITRE IV

ROCHES A FELDSPATHOÏDES SANS FELDSPATHS

A. — **Fasinite.**

La roche que je désigne ainsi n'est connue jusqu'ici qu'à Madagascar ; elle a été trouvée sous forme de gros blocs aux environs d'Ambal̃iha, dans la baie d'Ampasindava. J'ai vainement cherché son gisement en place, mais, par analogie avec toutes les roches qui l'accompagnent, il n'est pas douteux qu'elle ne constitue, comme elles, un dyke ou une intrusion plus importante dans les grès liasiques.

C'est une roche noire, à gros grain, essentiellement constituée par des cristaux automorphes d'augite titanifère (environ 75 pour 100) de 1 centimètre, associés à de la néphéline d'un gris noir, à éclat gras. L'apatite, la titanomagnétite (bordée de sphène), l'olivine, la biotite sont des éléments accessoires constants, souvent accompagnés d'un peu d'anorthose. L'augite titanifère, riche en inclusions à bulle, est zonée et possède la structure en sablier ; les bords de ses cristaux sont souvent frangés. La néphéline, remarquablement fraîche, possède des formes hexagonales, quand elle est en contact avec les bords de certains cristaux d'augite. La structure est grenue.

En 1902, quand j'ai décrit cette roche, alors que les considérations chimico-minéralogiques auxquelles j'attache aujourd'hui une si grande importance, n'étaient encore que vaguement esquissées, je l'ai désignée sous le nom d'*ijolite,* tout en faisant remarquer qu'elle s'éloigne des véritables ijolites par la nature et les proportions de son pyroxène. En reproduisant ma description, Rosenbusch a proposé[1] de désigner cette roche sous le nom de *bekinkinite*, la considérant comme la forme de profondeur de ses « Nephelinbasalte ». Il a confondu ce type, bien nettement défini, avec les roches amphiboliques et analcimiques de Bekinkiny (page 637). Afin d'éviter

1. *Mikrosk. phys. Massiv. Gesteine,* t. II, 1907, p. 441.

les méprises, puisque la roche qui nous occupe a une composition différente et ne se trouve pas dans la montagne de Bekinkiny, j'ai proposé [151 et 154] le nom de *fasinite*[1] pour distinguer la roche d'Ambaliha, telle qu'elle vient d'être définie, réservant celui de bekinkinite — puisqu'il existe — pour définir les roches à analcime de Bekinkiny.

La discussion des deux analyses données plus loin montre que la composition chimique de la fasinite ne diffère que peu de celle de certaines berondrites. Elle en constitue donc une forme hétéromorphe, non feldspathique et plus néphélinique. Grâce à la production d'une augite alumineuse (Cf. l'analyse dans l'Appendice du tome III), l'anorthite virtuelle ne peut être exprimée et passe à l'état potentiel dans le pyroxène : la quantité de silice n'est plus suffisante en outre pour permettre la production d'albite dans un plagioclase et toute la soude est employée pour former de la néphéline. La forme microlitique de la fasinite serait une basanite très riche en néphéline.

La fasinite est donc l'aboutissant, non feldspathique, de la famille théralitique et c'est en quoi elle se distingue de toutes les roches néphéliniques non feldspathiques grenues actuellement connues ; celles-ci ne renferment pas une quantité notable d'anorthite virtuelle, elles ont pour pyroxène, non point une augite, mais de l'aegyrine ou un diopside aegyrinique. Pour continuer la comparaison que je viens de faire, les ijolites sont l'aboutissant, non feldspathique, de la famille des syénites néphéliniques.

Fasinite : **258**) III'.7.3.4 (M. Raoult) ; **259**) III.6'.3.4 (Pisani).

	258	259
SiO^2.	39,70	40,10
Al^2O^3.	14,18	15,50
Fe^2O^3.	5,27	6,35
FeO.	8,40	7,29
MgO.	8,04	8,41
CaO.	15,20	12,40
Na^2O.	2,83	3,37
K^2O.	1,51	1,67
TiO^2.	4,20	2,98
P^2O^5.	0,35	1,28
H^2O +.	0,44	0,87
–	0,19	
	100,31	100,22

Je donne ci-contre des analyses mettant en évidence la composition chimique de la famille de l'ijolite, depuis un type ne renfermant presque que de la néphéline (*congressite*) jusqu'à d'autres (*jacupirangite*), holomélanocrates ; cette famille cons-

1. Du radical *fasy*, sable, entrant dans la composition du mont Ampasindava.

titue un groupe homogène, comme vient de le faire remarquer M. Brögger[1] qui, en décrivant un de ses termes particuliers, a proposé de le désigner sous le nom de *melteigite*. Je fais figurer dans ce tableau deux des analyses du type de Norvège, en même temps que celle de plusieurs variétés de roches analogues, riches en grenat mélanite, que j'ai recueillies moi-même à Magnet Cove[2] dans l'Arkansas et que j'avais fait analyser dans le but de faire une semblable comparaison. J'y joins enfin l'analyse d'un type spécial que je propose de désigner sous le nom d'*algarvite* ; je l'ai rencontré parmi les roches filoniennes de la Serra de Monchique (Portugal), recueillies par M. Pereira de Souza dans la syénite néphélinique ; c'est une roche noire, à grain moyen, formée de biotite, de diopside aegyrinique vert, d'un peu de sphène et d'ilménite, englobés dans de grandes plages de néphéline.

a) *Congressite,* Congress Hill, Craigmont, Ontario, 1.9.1.4 (Connor, *in* Adams and Barlow, XII Congr. geol. intern., *Guide* n° 2, 1913, p. 96) ; *b*) *Urtite,* Lujavr Urt (I)II.'9.1.4(5) (Sahlbom, *in* Ramsay, *Fennia,* t. XV, 1899, n° 2, p. 22) ; *c*) *Ijolite,* Iivaara (Finlande), II.9.1.4(5) (Zilliacus, *in* Hackmann, *Bull. com. geol. Finlande,* n° 11, 1900, p. 17) ; *Melteigites* : *d*) Melteig (Norvège) III.7(8).1.4 [2.1.3.3] (*in* Brögger. *Fengebiet, op. cit.,* p. 52[a]) ; Magnet Cove (Arkansas) ; A) 'III.9.1.4 ; B) III.8.1.(3)4 ; C) (microgrenue) III(IV).9.1.4[2.1(2).3'.2(3)] ; D) (passage à jacupirangite) (III)(IV)[7.2.4][2.'2.3'.3] ; E) *Algarvite,* Serra de Monchique, III(IV).9.1.4 ['2.2.2'.2] (A à E, M. Raoult).

	a	*b*	*c*	*d*	A	B	C	D	E
SiO^2 . . .	41,58	45,28	43,02	39,53	43,08	42,68	38,78	35,46	43,84
Al^2O^3 . . .	30,36	27,37	24,63	13,55	17,51	12,85	12,09	12,39	12,03
Fe^2O^3 . . .	2,46	3,56	3,59	4,85	5,45	6,17	9,21	7,73	5,33
FeO . . .	1,64	0,49	2,17	4,85	2,05	3,53	4,83	4,83	6,30
MgO . . .	0,37	0,33	1,96	3,46	4,75	3,81	4,74	4,77	8,59
CaO . . .	0,88	1,22	5,47	15,84	12,52	14,14	16,88	18,18	8,88
Na^2O . . .	14,30	17,29	14,81	6,17	7,42	4,88	5,12	4,71	6,37
K^2O . . .	5,15	3,51	2,99	2,55	4,05	4,14	2,98	1,17	3,76
TiO^2 . . .	0,22	»	0,63	3,72	0,98	3,47	3,23	5,52	4,12
P^2O^5 . . .	0,07	»	0,70	2,08	0,51	0,41	0,69	0,87	0,38
H^2O + . .	0,95	0,40	n. d.	0,33	1,32	2,82	0,68	3,03	0,32
— . .	0,06			0,08	0,49	1,05	0,28	0,70	0,29
CO^2 . . .	0,80	»	»	1,89	»	»	0,63	0,72	0,17
MnO . . .	0,03	0,19	»	0,20	»	0,28	»	»	»
	99,55[3]	99,64	99,97	99,90[4]	100,13	100,23	100,14	100,08	100,38

1. *Op. cit.*
2. M. Washington a publié des analyses très analogues de ces mêmes roches (*Bull. Soc. geol. America,* t. XI, 1900, p. 399).
3. Y compris Cl 0,30 ; BaO 0,02 ; FeS^2 0,36.
4. Y compris ZrO^2 0,05 ; BaO 0,05 ; Cl 0,02 ; F 0,18 ; S 0,50.

B. — *Ampasiménite.*

Près de la grève d'Ampasimena, j'ai rencontré des blocs d'une roche que je n'ai pu trouver en place, mais qui doit former des filons dans les grès liasiques constituant toute la région.

Sur une pâte à grain fin, brunâtre, se détachent des prismes hexagonaux de néphéline rosée de plus de 1 centimètre ; ils sont d'une fraîcheur remarquable ; au microscope, l'on constate qu'ils présentent des clivages basiques et prismatiques nets ; ils sont associés à des phénocristaux d'augite titanifère à macles répétées, de hornblende brune, en voie de résorption en magnétite. Ces minéraux, accompagnés d'un peu d'apatite et de titanomagnétite, sont disséminés au milieu de cristaux fort petits, automorphes, de néphéline et d'augite filiforme, verdissant sur les bords ; il existe une petite quantité d'analcime, de mésotype et de calcite secondaires.

L'analyse donnée ci-contre montre que cette roche est, au point de vue chimico-minéralogique, comparable à une sorte de fasinite leucocrate ; bien qu'elle ne renferme que de la néphéline en fait d'élément blanc, sa composition virtuelle, comme celle de la fasinite, comporte une quantité importante de plagioclase ; ses paramètres sont II.6.'3.4. Elle joue, par rapport à la fasinite, le même rôle que le *nephelinporphyr* de Finlande vis-à-vis des ijolites.

	260
SiO^2	43,35
Al^2O^3	19,44
Fe^2O^3	6,30
FeO	1,96
MgO	2,48
CaO	9,54
Na^2O	5,05
K^2O	2,89
TiO^2	1,53
P^2O^5	0,70
H^2O +	5,24
—	0,98
CO^2	0,28
Cl	0,02
	99,76

Peut-être faut-il rapprocher de l'ampasiménite, bien que je ne sois pas sûr qu'il ne s'agisse pas d'une lave, une roche, malheureusement très altérée, que Colcanap a recueillie au Nord d'Antonibe, mais que je n'ai trouvée dans une de ses collec-

tions qu'après sa mort, de telle sorte que je n'ai pu avoir de renseignements sur son gisement. Elle renferme de gros phénocristaux d'augite titanifère, aplatis suivant h^1 (1 centimètre), d'abondants cristaux de néphéline (2 à 4 millimètres), un peu d'apatite et de titanomagnétite dans une pâte très zéolitisée (christianite), renfermant un peu d'augite, de titanomagnétite, de néphéline et peut-être de leucite ou d'analcime (aires globulaires ponctuées de magnétite).

CHAPITRE V

PLAGIOCLASITES

I. — DIORITES

A. — *Diorites à facies diabasique.*

Parmi les nombreux filons à structure diabasique, qui traversent la formation sédimentaire de l'Ouest de l'île, et qui sont décrits page 652, il s'en trouve quelques-uns qui doivent être comparés, au point de vue de leur composition minéralogique et chimique, à ceux du Massif cristallin ; la structure intersertale y prédomine, mais, en général, l'altération du verre renfermé dans les intervalles intersertaux est si grande que je n'ai pas cru devoir en faire analyser.

Quelques filons du même genre se trouvent aussi dans la province pétrographique d'Ampasindava, notamment près d'Ambodimadiro.

J'insisterai davantage sur une roche qui forme un très gros dyke au Sud-Ouest du mont Andevenanaomby, dans le lit même de la branche orientale d'un coude de la Berondra et aussi sur le flanc occidental du chaînon de Bezavona, dans le cours moyen d'un affluent de gauche de l'Antsahabe. Elle est à grain fin, grise, tachetée de vert ; le pyroxène est de l'augite très titanifère, le feldspath un oligoclase. Il faut ajouter une hornblende brune, automorphe, mais cependant postérieure aux feldspaths ; il y a donc une tendance à la structure ophitique. Cette roche est altérée, l'augite est plus ou moins transformée en chlorite (pennine), la hornblende en biotite ; l'épidote, la calcite imprègnent tous les minéraux.

Cette roche rappelle les *protérobases* du Fichtelgebirge, mais d'autre part, elle n'est pas sans analogie avec les teschénites des Pyrénées, j'ai fait faire l'analyse **276** de l'échantillon le moins altéré que j'ai rencontré ; elle donne des résultats assez indécis ; la composition actuelle est celle d'une diorite (II.5.3.(3)4), sans qu'il soit

possible de faire la part exacte de ce qui revient aux altérations. Je donne comme comparaison l'analyse *a*) de la protérobase du Fichtelberg.

	276	*a*
SiO^2	45,97	47,60
Al^2O^3	17,31	15,29
Fe^2O^3	4,31	7,09
FeO	5,65	6,87
MgO	3,19	6,48
CaO	9,14	8,41
Na^2O	3,39	3,62
K^2O	2,84	1,40
TiO^2	3,18	tr.
P^2O^5	0,15	0,46
H^2O	2,11	2,14
CO^2	2,75	0,16
	99,99	100,03[1]
An %	46	

II. — GABBROS ET ALLIVALITES

Les roches gabbroïques sont assez abondantes au milieu des sédiments de l'Ouest; elles s'y présentent avec des caractères particuliers, suivant les régions.

A. — *Gabbros.*

a. — Gabbros amphiboliques.

Ces gabbros, que j'ai décrits autrefois sous le nom de gabbros essexitiques, accompagnent les roches néphéliniques ; ils jouent un certain rôle à Nosy Komba, où ils sont traversés par les syénites néphéliniques qui en renferment de nombreuses enclaves (Pl. 29, fig. 1 et 2). Ce sont des roches à grain moyen, dans lesquelles une hornblende noire (extinction d'environ 13° dans g^1) apparaît au milieu de plagioclases blancs. Cette hornblende ressemble beaucoup à celle des roches néphéliniques de la même région, mais elle se présente rarement, comme dans ces dernières, en cristaux nets. Elle est parfois orientée, déterminant ainsi un rubanement de la roche ; elle constitue le minéral essentiel de certains bancs. Dans d'autres cas, elle forme des cristaux porphyroïdes de 1 à 2 centimètres, à structure poecilitique.

L'examen microscopique montre que cette hornblende est associée à de l'augite légèrement titanifère, de l'apatite, de l'ilménite, du sphène, de la biotite et enfin

1. Y compris MnO 0,12 ; S 0,39.

de l'olivine dans les ségrégations basiques. Les plagioclases, parfois zonés, oscillent entre l'andésine-labrador et le labrador-bytownite. Quand ils sont un peu aplatis, la roche, de grenue, passe à une variété ophitique (*analyses* **277-278**).

b. — Gabbros augitiques.

α. **Gabbros leucocrates.** — Le laccolite du mont Ambohitrosy est en partie constitué par un gabbro à diallage, très riche en feldspaths et par suite de couleur claire ; il passe à un gabbro à olivine dont le grain est moins gros (*analyse* **277**).

β. **Gabbros normaux.** — Le laccolite du Fonjay est formé par un gabbro à grands éléments dont le feldspath, gris de fumée, est assez nettement aplati ; l'augite possède des plans de séparation suivant p ; elle est accompagnée par une petite quantité de hornblende brune et par de la magnétite titanifère.

γ. **Gabbros à olivine.** — Les gabbros à olivine sont plus fréquents que ceux dépourvus de péridot. L'olivine n'est jamais entourée de ces zones fibreuses kélyphitiques si fréquentes dans les gabbros du Massif cristallin.

Celui du mont Ambohitrosy, dont il vient d'être question, est accompagné par une variété riche en éléments colorés ; son pyroxène est un peu titanifère. A 3 kilomètres, au Sud de la même montagne, affleure un gabbro à structure grenue dont l'olivine est riche en inclusions de magnétite ; dans la même région, au Nord de Bekodoka, vers la rivière Bevato, un gabbro, à facies hypéritique, renferme beaucoup de titanomagnétite qui est poecilitique par rapport aux feldspaths et au pyroxène ; l'olivine est transformée en talc et en magnétite (*analyse* **280**).

A citer encore un gabbro à olivine, assez riche en biotite, intrusif dans les grès liasiques d'Andranasara, au Sud d'Ampiro.

De fort beaux gabbros, de couleur noire, riches en olivine et renfermant un peu de hornblende et de biotite, constituent de gros dykes dans le Lias des bords de la Joja ; l'olivine et l'augite sont riches en inclusions vitreuses à bulle et en inclusions ferrugineuses solides ; la structure est grenue, avec tendance à l'ophitique. L'analyse est donnée plus loin (**281**).

Il est vraisemblable que les basaltes de toute la région comprise entre la baie d'Ampasindava et le Sud d'Ankaramy en sont des formes microlitiques et possèdent la même composition chimique. En effet, les bords de ces dykes sont parfois constitués par une roche porphyrique, à grands cristaux d'augite et d'olivine, qui est un basalte doléritique holo-cristallin, renfermant de gros microlites de hornblende et de biotite.

Plus à l'Est, et sur la bordure de la zone sédimentaire, à Ambalafotsy, existe un petit massif de gabbros à biotite, qui est surtout remarquable parce qu'il est associé à la roche suivante : son feldspath est schillerisé et englobe poecilitiquement les minéraux colorés.

Gabbro mélanocrate à olivine. — Cette roche magnifique ressemble à celle d'Ambohibato, décrite page 427 ; son pyroxène est une augite violacée, accompagnée d'un peu de biotite et de hornblende ; le plagioclase (labrador-bytownite) est peu abondant ; il est grenu et non poecilitique, comme dans le gabbro plus feldspathique qui l'accompagne (*analyse* **283**).

c. — Filons à facies diabasique.

On a vu tome I, page 101 que les dykes de roches à facies diabasique sont extrêmement nombreux dans la dépression triasique qui borde le Massif cristallin, depuis le Sud de Maevatanana jusqu'au voisinage de Miandrivazo et qu'ils ne sont pas moins répandus dans la région gréseuse se développant plus à l'Ouest ; certains d'entre eux sont vraisemblablement des cheminées de coulées qui ont aujourd'hui entièrement disparu. J'ai examiné un très grand nombre de ces roches, recueillies par MM. Mouneyres et Baron, par M. Perrier de la Bathie et par M. J. Giraud. J'ai rencontré parmi elles toutes les variétés structurales dont il a été question dans l'étude des roches similaires de la côte orientale de l'île ; les variétés à structure intersertale, avec toutes ses modalités, sont particulièrement fréquentes.

α. **Types sans olivine.** — Comme exemple de types sans olivine, je citerai en particulier le pic d'Ambatomainty, près Ankilahila ; il renferme une roche holocristalline à grands éléments, à structure ophitique, dont les feldspaths blancs sont très apparents, par suite d'un commencement d'altération ; cette roche renferme les très beaux échantillons de prehnite et de mésotype dont il a été question dans le tome I.

Comme exemple de roches à structure intersertale, je citerai : la rivière Akondromavo ; l'Est de Bemavo; le Sud de la rivière Akondromena ; le Sud de Folakara ; sommet Sud-Est du Fonjay ; le flanc occidental de l'Ambohitrosy (épidote et quartz) ; l'arête Nord-Sud reliant le Fonjay au Manambao (Nord-Ouest de Morafenobe, verre chloritisé dans espaces intersertaux) ; le Sud de Morafenobe, etc. ; le grand dyke d'Antetezambato dans la vallée de la Mahakamba.

Dans l'Androy, il existe des roches analogues, à structure intersertale, avec palmes de feldspaths de dernière formation ; je n'ai pas de renseignements précis sur leur gisement ; elles me paraissent provenir, au moins en partie, de coulées ; il en sera question plus loin.

β. **Types à olivine.** — Les types à olivine paraissent plus fréquents parmi les dykes de la région Sakalava de l'Ouest que ceux n'en renfermant pas.

Est de Bedrietsy ; Ouest d'Ankisany ; Ambaraty ; Nord de Mitsiotaka ; Est d'Ambohitralika ; Nord d'Ambararata ; Ouest de Beravina ; Nord-Est de Folakara ; Belanjo, au Sud de Morafenobe ; Est de Mafebony ; Ouest du Fonjay ; entre Miandrivazo et Ambatomainty, Antetezambato (type mélanocrate, *analyse* **284**), etc.

d. — **Camptonites et basaltes camptonitiques.**

Camptonites. — Les camptonites sont des roches du groupe des basaltes, qui doivent une composition minéralogique spéciale aux conditions particulières de leur mise en place ; elles constituent des dykes. Le plagioclase (labrador) microlitique est associé à de la hornblende brune en longues aiguilles, parfois à de l'augite et toujours à de la magnétite titanifère. Cette hornblende qui est le minéral caractéristique, forme à la fois des phénocristaux et des microlites ; cette particularité, jointe à l'absence de phénocristaux de feldspaths, constitue la caractéristique du facies *lamprophyrique* distinctif des camptonites ; quant à la structure, elle est holocristalline, quelquefois presque grenue, ou bien diabasique, mais le plus souvent microlitique.

Des filons de camptonite, de cristallinité variée, abondent dans la région d'Ankaramy (Miharena, Vinanitelo, etc.) ; ils traversent les grès liasiques. Il est à peu près impossible de recueillir des échantillons dépourvus de produits d'altération et particulièrement de calcite.

Basaltes camptonitiques. — Les roches que je nomme ainsi se distinguent des véritables camptonites par la présence de phénocristaux de labrador et d'olivine. Elles accompagnent les camptonites. Il en existe aussi au voisinage d'Ambodimadiro, où Baron en a jadis recueilli un échantillon qu'a décrit M. Hatch [125].

On peut rapprocher du même type, bien que la hornblende y soit remplacée par de la biotite, une roche qui forme sur la Joja, des filons indépendants, et constitue aussi une forme de bordure des gabbros à olivine. Elle est généralement calcifiée et son olivine est transformée en bowlingite.

e. — **Composition chimique.**

Les analyses suivantes ont été faites, **278**) par Pisani ; **279**) et **282**) par Boiteau, les autres par M. Raoult.

277) *Gabbro leucocrate,* Ambohitrosy (I)II.(4)5.4.'4 ; *Gabbros à hornblende,* Nosy Komba, **278**) (II)III.5.4.4 ; **279**), 'III.5'.4.4 ; *Gabbros à olivine,* **280**) Ambohitrosy, III.5.4.(4)5 ; **281**) Joja, III.5.(3)4.4 ; **282**) Fonjay, 'III.5.4.'5 ; **283**) *Gabbros*

mélanocrates à olivine, Ambalafotsy, IV[5.(3)4.4.4′]1(2).2.2.2 ; **284**) à facies diabasique. Antetezambato (III)IV.5.3(4).4′[2.1(2).2.3]

	277	278	279	280	281	282	283	284
SiO^2.	50,80	45,40	44,44	47,00	46,70	46,30	46,01	46,36
Al^2O^3.. . . .	23,09	18,40	18,16	16,78	15,44	18,48	6,36	9,77
Fe^2O^3. . . .	3,90	0,77	5,97	2,15	2,29	1,66	4,22	4,37
FeO.	3,65	6,70	5,34	8,70	7,93	5,63	7,52	10,88
MgO.	1,08	7,45	5,59	9,18	9,90	10,13	16,95	11,23
CaO.. . . .	11,30	13,20	14,03	12,70	10,70	13,51	15,10	9,58
Na^2O.	1,97	2,31	2,12	2,42	2,47	2,18	1,11	1,93
K^2O.	1,43	1,25	0,74	0,52	1,09	0,26	0,40	0,59
TiO^2.	1,07	2,82	2,71	0,26	1,92	0,70	1,36	3,22
P^2O^5.	0,29	0,17	0,22	0,05	0,50	0,09	0,70	0,43
H^2O +. . . .	1,25	1,00	0,70	0,36	0,96	0,99	0,48	1,49
—. . . .	0,43		0,07	0,16	0,14	0,21	0,11	0,31
	100,26	99,47	100,09	100,28	100,04	100,14	100,32	100,16
An °/o. . . .	66	79		66	61	67	57	50

Il me paraît intéressant de mettre en regard de la composition chimique de ces gabbros à olivine, celle d'une série de roches analogues que j'ai rencontrées à la Réunion, dans le massif du Piton-des-Neiges, sous forme d'intrusions au milieu des agglomérats basaltiques. On remarquera la grande analogie des deux séries, avec cette réserve toutefois, qu'à la Réunion, la différenciation du magma a été poussée plus loin qu'à Madagascar, jusqu'à des allivalites mélanocrates, des harrisites et même des dunites uniquement formées de péridot.

Les analyses suivantes sont empruntées à une de mes notes antérieures[1] ; elles ont été effectuées par Boiteau.

Gabbros à olivine : *a*), II(III).5′.3′.4 ; *b*), III.5.4.4′ ; *c*) *Microgabbro*, en filon dans *b*), III. 5.4.4′ ; *d*), *Harrisite*, IV[5.5.3]I.4.1.1′ ; *Dunite* : *c*) (oxydée), *c′*)(même analyse, calculée sans eau avec Fe^2O^3 transformé en FeO), V.1.5.1.2.

	a	*b*	*c*	*d*	*e*	*e′*
SiO^2.	45,57	44,73	43,28	41,68	35,12	39,85
Al^2O^3.. , ...	17,16	13,30	13,58	6,28	0,56	0,65
Fe^2O^3..	3,64	5,42	5,43	2,64	8,49	»
P^2O.	8,41	6,95	8,03	9,32	3,78	12,95
MgO.	5,33	9,12	7,63	29,65	39,72	45,09
CaO.	10,35	14,16	13,19	7,28	0,87	0,99
Na^2O.	3,10	1,66	2,04	0,44	0,16	0,19
K^2O.	1,88	0,60	0,66	0,46	0,08	0,09
TiO^2.	2,82	2,49	3,81	0,49	0,09	0,10
P^2O^5.	0,54	0,16	0,41	0,06	0,08	0,09
H^2O +. . . . . / —.	0,94	1,71	1,82	1,96	10,86	»
	99,74	100,30	99,88	100,26	99,81	100,00
An °/o.	60	62	57	82		

1. *C. Rendus*, t. LV, 1912, p. 540.

B. — *Allivalites.*

J'ai décrit depuis longtemps une roche curieuse, constituant une partie du laccolite du Fonjay ; au premier abord, elle fait penser à un calcaire cristallin à chondrodite ; elle est en effet blanche, avec des taches jaunes ; en réalité, elle est constituée uniquement par une bytownite à 88 pour 100 d'anorthite et par de l'olivine accompagnée de très peu d'augite ; il n'existe pas de minerais.

Cette roche doit être considérée comme une forme leucocrate de la roche de l'île de Rum (Hébrides), à laquelle M. A. Harker a donné le nom[1] d'*allivalite* ; comme dans les variétés de celle-ci dans lesquelles l'anorthite est en excès sur l'olivine, ce dernier minéral a cristallisé après le feldspath qu'il moule ; j'ai rencontré, en 1903[2], parmi les projections de l'éruption du volcan de Saint-Vincent aux Antilles, un très grand nombre de variétés de ce type pétrographique fort rare ; elles présentent de nombreuses variations dans les proportions relatives de l'olivine et de l'anorthite. Les roches de ce volcan possèdent la particularité d'avoir leur feldspath (anorthite) complètement vitreux. Elles sont accompagnées par toute une série de roches gabbroïques dont les feldspaths présentent la même particularité et qui sont caractérisées, les unes par l'association de l'olivine à de l'augite et les autres simplement par de la hornblende.

J'ai rencontré aussi une allivalite à l'état intact, au Sud du Fanambana (page 419).

On a vu page 520 que certains gneiss amphiboliques grenatifères du Massif, cristallin ont la même composition chimique que cette roche.

Analyses : *Allivalites,* **285**) *leucocrate,* Fonjay, II.5.'5.5 (Raoult) ; *a*) *mésocrate,* Allival. (Rum), III.5.(4)5.5 (Pollard, *in* Harker).

	285	*a*
SiO^2	44,12	42,20
Al^2O^3	25,33	17,56
Fe^2O^3	0,87	1,20
FeO	3,85	6,33
MgO	9,51	20,38
CaO	14,19	9,61
Na^2O	1,16	1,11
K^2O	0,17	0,11
TiO^2	0,20	0,09
P^2O^5	0,10	»
H^2O +	0,25	1,13
—	0,11	0,06
MnO	»	0,18
	99,86	100,21[3]
An °/o	88	90

1. Geology of the Small Isles of Invernesshire, *Mem. Geol. Survey Scotland,* 1908, p. 69.
2. *La Montagne Pelée et ses éruptions,* 1904, p. 595.
3. Y compris Cr^2O^3 0,06 ; (Co,Ni)O 0,13 ; CuO 0,04 ; S 0,02.

CHAPITRE VI

PHÉNOMÈNES DE CONTACT DES ROCHES INTRUSIVES POST-LIASIQUES

Bien que selon toute vraisemblance, les intrusions dont les roches ont été décrites dans ce chapitre, se soient produites sous une couverture de sédiments peu épaisse et par suite à une minime profondeur, il n'est pas rare de constater des phénomènes métamorphiques de contact qui, pour n'avoir pas une grande ampleur en surface, n'en présentent pas moins de l'intérêt.

I. — CONTACTS DES GRANITES

A. — *Contacts des granites à riebeckite*

De beaux contacts des granites à riebeckite et de divers sédiments liasiques peuvent être vus dans la région d'Ampasibitika ; j'ai particulièrement étudié [140], ceux de la haute falaise, d'où tombe le ruisseau, un peu à l'Ouest du village.

α. **Contacts avec les calcaires et les marnes.** — Les calcaires sont transformés en marbres blancs, au milieu desquels se rencontrent, au voisinage immédiat du granite, des lits d'agrégats silicatés à grands éléments, formant aussi des veines anastomosées qui, de loin, se peuvent confondre avec celles de granite. Elles présentent un intérêt théorique, car, si, à la rigueur, on pourrait penser que les lits horizontaux silicatés résultent de la transformation sans apport de couches sédimentaires de composition anormale, il ne saurait en être de même pour ces veines coupant des couches de composition différente.

Le minéral métamorphique dominant est le grenat grossulaire, jaune vif ou verdâtre, formant parfois des grenatites à gros grain dans lesquelles apparaissent

des formes géométriques distinctes (b^1) toutes les fois qu'a subsisté un peu de calcite ou qu'il existe du quartz de cristallisation postérieure. L'examen microscopique montre que ces grenatites renferment, en outre, du diopside incolore et de la wollastonite. Certaines veines silicatées possèdent une disposition symétrique ; sur leurs bords, le grenat est englobé par de grandes plages de *fluorine* violacée, tandis qu'au centre se trouvent surtout de la wollastonite fibreuse et un peu de diopside. Quand il subsiste de la calcite, ce minéral présente des structures extraordinaires, ou bien des associations graphiques avec du quartz, dans lesquelles la calcite est le minéral enveloppé, ou bien des groupements à axes parallèles de nombreux cristaux allongés suivant *c* dont les intervalles sont occupés par de petits grains de quartz et de diopside ; cette dernière structure rappelle celle des chondres des météorites. Très fréquemment, les cristaux de grenat sont cimentés par de l'aegyrine et de la pectolite ayant des formes nettes quand ces minéraux sont englobés dans de la calcite ou du quartz. Le grossulaire est de composition variable, il passe à l'andradite et il est parfois riche en inclusions de magnétite.

A Andranomantoraka, des *marnes* ont été transformées en cornéennes extrêmement compactes, mouchetées de brun rouge, de vert clair ou de noir, suivant que le minéral métamorphique prédominant est de l'andradite, du diopside ou une amphibole très ferrifère et sodique d'un vert bleuâtre en lames minces. Quand cette dernière est abondante, le grain de la roche augmente et la cornéenne passe à une amphibolite. Dans toutes ces roches, de la calcite apparaît encore, çà et là. Les fentes s'ouvrent sous le choc du marteau et montrent de petits cristaux brillants d'amphibole et de magnétite.

Gîte de fer pneumatolytique. — Au milieu des roches précédentes, se trouvent des amas de magnétite grenue ; quand je suis passé à Andranomantoraka, des travaux de recherche, effectués quelques années auparavant par Villiaume, étaient envahis déjà par la végétation tropicale et je n'ai pu me rendre compte de l'importance de ce gisement métallifère ; mais, au point de vue de sa genèse, il doit être comparé à celui de Boutadiol, dans l'Ariège[1]. Il n'y a aucun doute possible sur son origine pneumatolytique, attendu que les assises liasiques de la région ne renferment aucun minerai de fer sédimentaire dont la transformation aurait pu donner naissance à de la magnétite.

β. **Contacts avec les grès**. — Les grès à ciment calcaire sont transformés en cornéennes compactes, très dures, jaunes ou d'un vert clair, avec zones d'un vert

1. A. Lacroix, *Comptes rendus*, t. CXXVIII, 1899, p. 1467.

noir au contact immédiat du granite. La calcite a été plus ou moins remplacée par de la wollastonite et du diopside qui cimentent solidement le quartz clastique et quelques grains de feldspath du sédiment ; un peu de sphène entourant du rutile est presque constant. Au voisinage immédiat du contact, les silicates calcaires deviennent ferrugineux ; ils ne forment plus de petits grains, mais de grands cristaux, associés à des plages poecilitiques d'orthose ; le quartz est entièrement recristallisé ; enfin, il existe, en quantité souvent considérable, de la *fluorine* incolore ou violette, dépourvue de formes géométriques ; son existence démontre d'une façon indiscutable les apports pneumatolytiques.

γ. **Contact avec les schistes argilo-calcaires.** — J'attribue à la transformation de schistes argileux des roches schisteuses micacées que je n'ai recueillies qu'à l'état de blocs ou sous forme d'enclaves, sans qu'il m'ait été possible de trouver, comme pour les roches précédentes, le gisement en place fournissant tous les stades de la transformation. Ces roches sont essentiellement formées par de la biotite, du quartz, de l'orthose, de la fluorine, un pyroxène vert et de l'aegyrine. La biotite a la structure caractéristique des schistes micacés de contact ; elle se concentre souvent dans des lits distincts, alternant avec d'autres, essentiellement pyroxéniques.

Quand ces roches se trouvent à l'état d'enclaves dans le granite à aegyrine, leur contact avec ce dernier se fait par une zone bleuâtre ; au voisinage de l'enclave, dans le granite, existe une zone riche en aegyrine et pauvre en quartz ; peu à peu l'aegyrine est remplacée par une amphibole arfvedsonitique, d'un bleu de mer, raccourcie suivant c ; celle-ci supplante progressivement l'aegyrine. Puis vient une zone uniquement amphibolique qui passe au schiste micacé par apparition de quantités croissantes de biotite. Il existe fréquemment, du côté du granite, une abondance d'octaèdres jaunes de pyrochlore (?) et aussi d'un minéral incolore très réfringent, qui est peut-être un spinelle.

Enfin, j'ai décrit autrefois des blocs trouvés non en place, tout à fait identiques, comme apparence, aux cornéennes de Cauterets (Hautes-Pyrénées) injectées lit par lit par le granite. Ici, il s'agit d'un granite à amphibole bleue et à allanite dont la richesse en biotite est probablement due à une réaction endomorphe. Les lits sédimentaires sont riches en diopside, en plagioclase basique et en orthose, moulés par des lamelles de biotite. Au voisinage des injections granitiques, l'orthose forme de grandes plages poecilitiques qui englobent tous les autres éléments ; la biotite prend des formes hexagonales très nettes et il se développe aussi de l'allanite. Ces roches ressemblent au type de contact des syénites néphéliniques dont il est question page 662.

B. — *Contacts du granite à hornblende.*

Le granite à hornblende de la pointe de Lokobe se voit sur le bord de la mer en contact avec les sédiments argilo-quartzeux du Lias qui sont transformés en cornéennes [1] ne se distinguant pas de celles qui sont modifiées par la syénite néphélinique dont il va être question plus loin ; mais, par places, au contact immédiat du granite, se voient d'admirables exemples d'injection lit par lit et de feldspathisation de roches très micacées. Ils se présentent suivant le mode si souvent décrit dans les contacts des granites anciens français, et particulièrement de ceux des Pyrénées, aussi semble-t-il inutile d'insister sur eux. D'ordinaire, au contact immédiat, le granite devient un peu plus amphibolique.

II. — CONTACTS DES SYÉNITES NÉPHÉLINIQUES ET DES SYÉNITES ALCALINES.

A. — *Contacts avec les marnes liasiques.*

Au voisinage des syénites néphéliniques de Nosy Komba et de la pointe d'Ankify, les marnes liasiques sont rubanées de blanc, de vert ou de noirâtre ; l'examen microscopique permet d'y voir, mélangés à des restes de quartz clastique et de calcite, de petits grains de diopside incolore, d'épidote, de sphène, d'anorthite et, très près de la roche éruptive, d'orthose.

Au contact immédiat, notamment à l'Est d'Ampangorinana, la cristallinité de ces cornéennes est plus grande ; un diopside vert d'herbe, en grains un peu spongieux, enveloppe de l'albite et de l'orthose ; enfin, il existe parfois de la néphéline ; ces cornéennes sont traversées par des veinules de wollastonite fibreuse ou bien par d'autres, constituées par de l'albite en gros grain, associée à des plages de calcite et de grossulaire biréfringent du type pyrénéite. Dans quelques échantillons, ces veinules à grands éléments se diffusent peu à peu dans la roche qui passe ainsi localement à un type à gros grain, très analogue à ceux qui vont être décrits en enclaves dans la syénite. Un peu de calcite, de pyrrhotite, des cubes de pyrite sont fréquents dans tous ces types de cornéennes.

Enclaves dans les syénites. — J'ai recueilli un assez grand nombre d'enclaves dans les divers types de syénites néphéliniques ; elles correspondent à plusieurs types.

1. Ces cornéennes sont souvent rubanées de gris (diopside moulant le quartz clastique) et de violacé (biotite prédominant sur le diopside).

Une grenatite est jaune, rubanée, essentiellement formée par du grossulaire associé à un peu d'idocrase, d'anorthite et de wollastonite. Elle est toujours séparée de la syénite par une zone d'un vert foncé qui se prolonge dans sa masse, le long de la stratification originelle en y formant des veines, des taches qui gagnent de proche en proche. L'examen microscopique y montre une composition plus complexe : pyroxène vert, plagioclases zonés, allant de l'anorthite au centre jusqu'à l'albite sur les bords, orthose sodique, néphéline ; la structure est granoblastique. L'anorthite prédomine du côté de l'enclave, l'orthose et la néphéline du côté de la roche éruptive. Peu à peu, la transformation peut arriver à faire disparaître presque entièrement la composition primitive de l'enclave ; on reconnaît dans cette influence magmatique, la particularité décrite page 472 comme caractéristique des contacts de pegmatites du Massif cristallin et des enclaves calcaires qu'elles renferment.

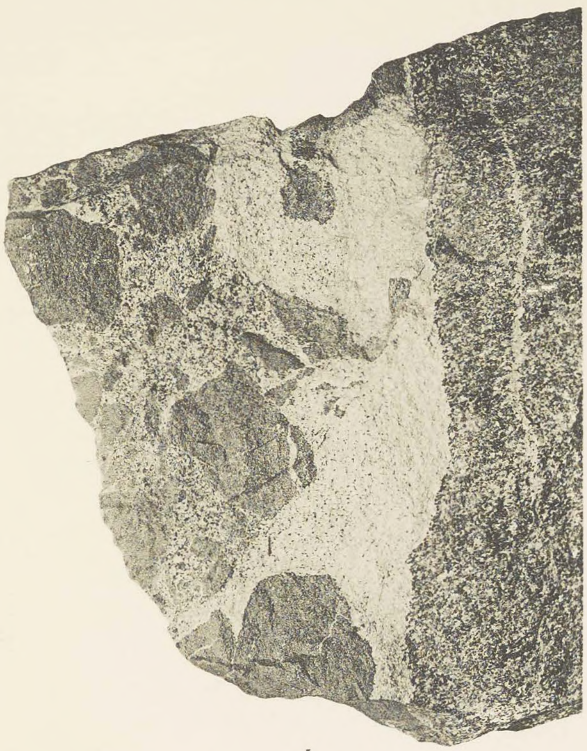
A l'Est d'Ampangorinana, j'ai observé une véritable brèche (Pl. 29, fig. 3) de fragments de *grenatite* d'un brun cannelle, eux aussi, entourés par une écorce d'un vert clair, la partie centrale est constituée par des grains ou des rhombodécaèdres de grossulaire, associés à de la calcite et à du diopside. Ce grenat est monoréfringent, mais dans la zone verte périphérique, il appartient au type pyrénéite. Il enveloppe du diopside vert foncé et il est englobé lui-même dans de l'orthose, de l'albite et de la néphéline. Là encore, il s'est produit un envahissement progressif et souvent complet de la partie grenatifère centrale par des éléments fournis en grande partie par le magma.

Ces phénomènes de transformation métamorphique présentent une certaine analogie avec ceux que j'ai décrits jadis [1] dans les calcaires siluriens de Montréal, au contact des syénites néphéliniques.

Enfin, il me reste à signaler des enclaves de cornéennes feldspathiques renfermant de la wollastonite, du diopside, du sphène, parfois un peu de biotite, beaucoup d'orthose et d'albite. Ces enclaves sont traversées par des veinules aplitiques de syénite, de part et d'autre desquelles on voit se développer dans l'enclave de grands cristaux poecilitiques d'une hornblende brune, semblable à celle de la syénite.

Des phénomènes métamorphiques du même ordre s'observent au contact des syénites de Lokobe (pl. 29, fig. 3) et des syénites néphéliniques du Massif de Bezavona, mais, en moyenne, dans ce dernier massif, les cornéennes y sont plus riches en wollastonite et ne renferment pas de plagioclases ; elles sont parfois séparées de la roche éruptive par une zone schisteuse d'aegyrine associée à une amphibole bleue. J'ai décrit autrefois une brèche d'intrusion formée de frag-

1. *Bull. Soc. géol. France*, t. XVIII, 1890, p. 548.



1



2



3



4

Clichés Cintract et Fallou.

Imp. Catala frères, Paris.

Fig. 1 et 2. *Syénite néphélinique* injectant *gabbro amphibolique ;* Nosy Komba.
Fig. 3. *Syénite* injectant *cornéenne liasique* ; Lokobe.
Fig. 4. Enclaves de *grenatite* dans *syénite néphélinique ;* Nosy Komba.

A. CHALLAMEL, ÉDITEUR

ments anguleux de calcaires, de cornéennes et de syénite néphélinique de structure variée ; le ciment qui les réunit est riche en diopside formé *in situ* ; cette brèche est sillonnée de veinules de syénite néphélinique, sa formation est donc contemporaine de la mise en place du magma éruptif.

Modifications endomorphes de la syénite. — Aux alentours de ces enclaves, la syénite néphélinique est toujours beaucoup plus riche en minéraux colorés qu'à l'état normal; il y apparaît de la biotite, de l'olivine, un plagioclase acide ; sa structure subit aussi de fréquentes variations locales.

La comparaison de l'*analyse* **290** avec les analyses de la page 624 montre que la portion de cette syénite avoisinant de petites enclaves en voie de dissolution s'est enrichie en fer, en magnésie, en chaux, s'est appauvrie en silice, en alumine et en alcalis.

Je donne ci-contre les analyses (Pisani) : **286**) d'une cornéenne entièrement silicatée recueillie en place ; **287**) d'une grenatite ; **288**) zone périphérique ; **289**) d'une cornéenne feldspathique et amphibolique ; **290**) d'une *syénite néphélinique* endomorphisée (M. Raoult), devenue *monzonite néphélinique*, limite d'*essexite* : II'.(5)6.2.'4.

	286	287	288	289	290
SiO^2	45,75	47,50	48,60	57,55	52,08
TiO^2	0,37	0,45	0,50	0,43	1,38
Al^2O^3	17,50	16,20	17,20	18,25	16,05
Fe^2O^3	0,75	0,85	1,25	0,68	3,25
FeO	3,87	4,60	5,50	4,51	5,37
MgO	3,75	3,15	3,75	3,43	3,67
CaO	26,70	21,60	18,60	6,22	7,74
Na^2O	1,08	3,05	3,15	4,65	4,99
K^2O	0,80	1,15	0,95	4,05	3,67
H^2O +	0,67	2,50	1,19	0,33	1,04
—	»	»	»	»	0,22
	101,24	101,05	100,69	100,10	100,10[1]

B. — Contacts avec les argiles quartzeuses.

A l'état normal, ces roches sont rubanées, noires, à grain très fin ; au microscope, l'on constate qu'elles sont très riches en fragments anguleux, clastiques, de quartz, avec un peu de calcite ; ces minéraux sont enveloppés dans une matière colloïde, argileuse, riche en ponctuations charbonneuses.

Au voisinage des syénites, elles deviennent brunes et se chargent progressivement de paillettes de biotite qui, peu à peu, augmentent de dimensions, surtout dans certains lits ; elles sont accompagnées de diopside ; le mica enveloppe le quartz ancien.

1. Y compris P^2O^5 0,39 ; CO^2 0,14 ; Cl 0,11.

Plus près encore du contact, les minéraux métamorphiques grossissent en même temps qu'apparaissent un peu de plagioclase et d'orthose. Enfin, au voisinage immédiat de la syénite et surtout au milieu des enclaves, la roche métamorphique prend l'aspect extérieur d'un lamprophyre.

La biotite en grosses lames est prédominante, le pyroxène forme de grands cristaux maclés suivant h^1, englobant poecilitiquement de petites paillettes de biotite. Le plagioclase, aplati suivant g^1, est assez basique (labrador-bytownite) ; il est, lui-même, extrêmement riche en petites lamelles de biotite et en grains de pyroxène. La roche est très hétérogène; le mica d'une part, le pyroxène et la pyrrhotite d'une autre se concentrent par taches. Le contact avec la syénite se fait par une zone de quelques millimètres, formée par de la hornblende brune du côté de la syénite, par du diopside près de l'enclave. Enfin, du contact s'irradient dans la roche métamorphisée de très fines veinules de syénite néphélinique.

L'*analyse* **291** (Pisani) donne la composition moyenne d'un échantillon de cette roche de contact. Celle-ci peut être rapprochée des cornéennes à diopside, plagioclase et biotite de la classification des roches métamorphiques de la région de Kristiania de M. V. Goldschmidt[1] ; l'analyse d'un échantillon de contact de la nordmarkite est donnée en *a*) ; la différence consiste essentiellement en une teneur beaucoup plus faible en chaux et en magnésie, plus grande en soude de la roche norvégienne.

	291	*a*
SiO^2	45,25	47,93
TiO^2	1,13	0,76
Al^2O^3	18,40	20,34
Fe^2O^3	1,70	4,35
FeO	7,87	8,63
MgO	8,80	5,58
CaO	9,55	1,64
Na^2O	2,82	4,70
K^2O	3,05	4,88
H^2O	1,67	0,72
	100,24	99,66[2]

Modifications endomorphes d'une syénite dues à un grès à ciment calcaire.

Sur le flanc Est-Nord-Est de Nosy Komba, à l'altitude de 350 mètres, se trouvent d'énormes blocs éboulés d'une roche singulière, résultant probablement de la

1. Die Contaktmetamorphose im Kristianiagebiet, *op. cit.*, 1911, p, 37.
2. Y compris MnO 0,13.

transformation d'une roche éruptive. D'un gris jaune, elle est, par places, finement grenue, alors qu'ailleurs, elle est à gros grain. La pyrrhotite abonde surtout dans les portions à grain fin.

Ces dernières sont formées par un agrégat grenu d'augite, de biotite, de pyrrhotite et de labrador-bytownite, enveloppés poecilitiquement par de grandes plages d'orthose ; dans les portions à grands éléments, ce sont celles-là qui prédominent englobant toujours les mêmes minéraux. Les grands cristaux de feldspath sont automorphes ; ils sont enchevêtrés et leurs vides remplis par du quartz qui forme aussi, dans le feldspath lui-même, des groupements graphiques ou vermiculés.

Dans certains cas, ces grandes plages d'orthose poecilitique sont remplacées par une véritable micropegmatite qui s'irradie en fines veinules renfermant soit du spinelle vert, soit de la calcite, englobant de l'amphibole et de l'actinote ; elles se prolongent au milieu de la cornéenne à grain fin. Enfin, çà et là, se rencontrent de petits nodules d'une syénite à pyroxène et hornblende riche en sphène.

Cette roche ne correspond à aucun type connu en place à Madagascar; il me paraît vraisemblable qu'il s'agit là d'une forme de bordure d'une syénite modifiée par absorption de grès calcaires liasiques. Je n'ai pu voir en place le gisement qui se trouve dans la forêt impénétrable.

La composition chimique **292** (Pisani) correspond à la formule magmatique I(II).(4)5.3'.3. C'est une composition de roche monzonitique, assez anormale.

	292
SiO^2	60,25
TiO^2	0,35
Al^2O	19,70
Fe^2O^3	0,54
FeO	3,61
MgO	2,81
CaO	6,60
Na^2O	2,33
K^2O	4,18
H^2O	0,83
	101,20

Cette analyse a été faite sur un bloc de la grosseur du poing pulvérisé pour avoir la moyenne entre les portions à grands et à petits éléments; 6 pour 100 de pyrrhotite, sans doute d'origine pneumatolytique, ont été préalablement éliminés.

III. — CONTACTS DES GABBROS.

Contacts avec les sédiments triasiques.

Je n'ai que l'observation suivante concernant les contacts de gabbros ; elle a rapport à deux échantillons de grès triasiques recueillis par M. Perrier de la Bathie au Fonjay.

L'un est un ancien *grès à ciment argileux* qui a été transformé en quartzite dont les grains clastiques de quartz sont entourés par des lamelles de muscovite. L'autre est un *grès à ciment calcaire* métamorphisé en un quartzite vert clair dont les grains de quartz originel sont entourés par un agrégat grenu de diopside et d'anorthite, avec un peu de quartz recristallisé. Ce mode de transformation est tout à fait identique à celui que présente ce même type de sédiment au contact des granites alcalins.

IV. — CONTACTS AVEC LES COMBUSTIBLES.

Au cours des sondages qu'il a effectués pour la recherche de combustible fossile dans le Lias des environs immédiats d'Ankaramy, Villiaume a observé [266] le contact d'un lignite et d'un filon d'une roche basique qui n'a pas été conservée. Il a constaté la transformation de ce lignite en une sorte de coke (*cokéite*). C'est une transformation analogue à celle qui est connue aux environs de Commentry (Allier) aux dépens de la houille traversée par un filon lamprophyrique.

V. — CONTACTS ENTRE ROCHES ÉRUPTIVES.

J'ai observé un curieux contact de gabbro à facies diabasique et de granite au col de Betsiekabe (région d'Andavakoera). La première de ces roches est un type de passage à la labradorite ; le granite, à grain fin, est formé de microcline, d'oligoclase et de quartz, avec quelques paillettes de biotite, du zircon et de l'apatite. Au contact de la roche noire, le quartz et le zircon sont les seuls minéraux du granite qui soient intacts ; les feldspaths ont fondu ; quand il en reste des débris, ceux-ci prennent la structure en cassette si fréquente dans les enclaves de feldspaths dans les laves basiques. Ils ont recristallisé sous forme de grandes palmes formant souvent aux débris anciens une bordure pectinée, orientée

sur eux. Un peu de biotite et d'allanite sont à ajouter aux produits de recristallisation. Ces phénomènes sont ceux que j'ai décrits[1] dans un très grand nombre d'enclaves de roches feldspathiques des laves basiques les plus diverses ; mais ici, dans le cas de la structure en cassette, le verre originel est remplacé par du quartz secondaire. Il semble qu'il faille attribuer au même phénomène des roches recueillies par M. Giraud dans la région de l'Ouest.

VI. — ENCLAVES DANS LES ROCHES BASIQUES.

α. **Modifications des enclaves.** — J'ai étudié des enclaves d'arkose dans les gabbros diabasiques du massif de l'Ambohitrosy, des enclaves granitiques dans les labradorites doléritiques de Vangaindrano, ainsi que dans une roche microlitique basique en filon dans le granite en amont de Sakazera (vallée de la Mananjeby). Les phénomènes de fusion des feldspaths et de recristallisation suivant les modes variés que j'ai décrits dans d'autres gisements, sont accompagnés de formation d'augite jaunâtre dans les feldspaths et sur la bordure des enclaves. Les grains de quartz, non transformés au milieu du magma basique, sont entourés par l'habituelle couronne d'augite verdâtre.

β. **Modifications endomorphes.** — Les filons de monchiquite qui traversent les grès liasiques des environs d'Ankaramy en renferment souvent des fragments minuscules ou des blocs. Ces enclaves sont plus ou moins fondues et séparées alors de la roche normale par une zone de couleur claire, très riche en feldspaths acides qui se sont développés dans les fentes du quartz encore intact.

Il est facile de donner l'explication de la genèse de ce plagioclase acide dans ces roches qui, normalement, ne renferment pas de feldspath. Le calcul de la composition virtuelle de la roche englobante met en lumière l'existence à la fois de néphéline et d'anorthite virtuelles. La dissolution du quartz fournit les quatre molécules de silice nécessaires à la transformation de la néphéline virtuelle en albite ; celle-ci peut alors se combiner avec une partie de l'anorthite virtuelle pour donner naissance à du plagioclase dont la tendance à cristalliser est bien connue. C'est donc un phénomène analogue à celui que j'ai signalé jadis au Mont-Dore[2] et qui a fait apparaître de la leucite à la place d'enclaves granitiques, dans le basalte de la Banne d'Ordanche, au Mont-Dore.

1. *Les enclaves des roches volcaniques*, Mâcon, 1893.
2. *C. Rendus*, t. CXIII, 1891, p. 751.

EXPLICATION DES PLANCHES

PLANCHE 1

Portions de filons de quartz aurifère d'Andavakoera.

FIG. 1. — Quartz à mâchoire ouverte, page 32.

FIG. 2. — Remplissage de *galène*, page 33.

FIG. 3. — Remplissage de *barytine*, corrodée par dissolution, page 33.

FIG. 4. — Remplissage de cristaux *d'or*, de *blende* et de *quartz*, page 36.

FIG. 5. — Remplissage drusique de *barytine*, page 32.

FIG. 6. — Remplissage drusique de *barytine* et de *blende*, page 33.

Faible réduction.

PLANCHE 2

Filons de quartz aurifère de la région d'Andavakoera.

FIG. 1. — Filon de quartz avec *remplissage quartz et or* (quartz dominant) (Grossissement 5), page 34.

FIG. 2. — Filon de quartz avec *remplissage quartz et or* (or dominant) (Grandeur naturelle), page 34.

FIG. 3. — Quartz avec *or, blende, dolomite* (en partie dissoute). Ranomafana. (Grossissement 3), page 37.

FIG 4. — *Or* dans *barytine*. Betankilotra. (Grossissement 3), page 38.

PLANCHE 3

Quartz renfermant blende et cristaux d'or. Andavakoera.

FIG. 1, 2 et 4. — La *blende* a disparu et les cristaux *d'or* sont libres dans les cavités ainsi formées.

FIG. 3. — La *blende* est intacte (Grossissement 3), page 36.

PLANCHE 4

Exploitations d'Andavakoera. Travaux sur les filons.

Fig. 1. — Grande tranchée d'Ambilo, à Andimakaomby. Orpailleurs vidant leurs trous.

Fig. 2. — Filon de Berezika.

PLANCHE 5

Lavage à la batée des alluvions aurifères sur les Hauts Plateaux.

PLANCHE 6

Traitement des alluvions aurifères.

Fig. 1. — Lavage au *sluice*, Betanimena, pages 47-49.

Fig. 2. — Lavage à la *batée*. Alluvions anciennes de la région d'Ankazobe, pages 47-49.

PLANCHE 7

Fig. 1. — Lavage à la *batée* d'alluvions aurifères immergées, dans le lit du Lohotra, pages 47-49.

PLANCHE 8

Fig. 1. — Surface polie et attaquée par l'eau régale d'une *pépite d'or*. Marijao. Elle montre la structure grenue du métal, avec des macles polysynthétiques suivant a^1. (Grossissement 5), page 41.

Fig. 2 et 4. — Fer *titané*. Vangoa. *Groupements perthitiques de magnétite et de crichtonite* ; sections parallèles à un axe quaternaire de la magnétite. (Grossissement 5), page 77.

Fig. 3. — *Ibid*. Ianakafy. La section est perpendiculaire à un axe ternaire de la magnétite. Type avec prédominance de la crichtonite. (Grossissement 5), page 77.

Fig. 5. — *Ibid*. Itorendrika. Type avec prédominance de la magnétite ; la structure chagrinée de celle-ci est due à l'oxydation partielle de la magnétite (parties brillantes) et à sa transformation en hématite (parties ternes), page 77.

PLANCHE[1] 9

Sections de cristaux zonés de *tourmalines lithiques*, vertes et rouges. Maharitra. (Grandeur naturelle).

PLANCHE 10

Fig. 1. — Toby d'Antsongombato, page 86.

Fig. 2. — Un des filons de pegmatite gemmifère, exploités à Antsongombato, page 86.

1. Cette planche est destinée à remplacer la figure 328 (p. 425 du tome I) qui est insuffisante.

PLANCHE 11

Exploitations de mica phlogopite de Fort-Dauphin, page 146 et 555.

Fig. 1. — Phlogopite en place dans le filon. Iroboka.

Fig. 2. — Phlogopite associée à la calcite à clivages rhomboédriques. Sahakara.

Fig. 3. — Ouverture d'un puits d'extraction de la phlogopite, dont les grandes lames jonchent le sol. Ambatoabo.

PLANCHE 12

Fig. 1. — Filon de muscovite dans pegmatite, transformée en kaolin ; dans le fond, on voit les traces de coups d'angady qui ont entaillé celui-ci. Andilana, page 145.

Fig. 2. — Entrée d'une caverne d'un filon de phlogopite. Ambatoabo, page 146 et 555.

PLANCHE 13

Fig. 1 et 2. -- Exploitation dans cavernes de filons de phlogopite. Sahakara (fig. 1); Ambatoabo (fig. 2), page 146 et 555.

PLANCHE 14

Exploitations de graphite (page 151).

Fig. 1. — Antsahabeloha.

Fig. 2. — Antsiriribe.

PLANCHE 15

Fig. 1. — Exploitation de graphite, dans argile latéritique taillée à l'angady. Antsiriribe, page 152.

Fig. 2. — Lavage du graphite. Même gisement, page 152.

PLANCHE 16

Exploitations de graphite. Région de Betafo.

Fig. 1. — Lavage au sluice, page 152.

Fig. 2. — Lavage à la batée, page 152.

PLANCHE 17

Mêmes exploitations que pour la planche 16.

Fig. 1. — Purification du graphite par lavage dans un chantier couvert, page 152.

Fig. 2. — Séchage du graphite, page 152.

PLANCHE 18

Fig. 1. — Pierre levée (*vatolahy*). Environs d'Ilafy, page 169.

Fig. 2. — Pierre levée de gneiss (tombeau Antanosy). Vallée de Fanjahira (Isaka), page 169.

PLANCHE 19

Fig. 1 et 2. — Pierres levées de gneiss (tombeaux Antanosy). Environs de Fort-Dauphin (fig. 1) ; vallée de Fanjahira (fig. 2), page 169.

PLANCHE 20

Fig. 1. — Exploitation du granite par le feu[1]. Ambatonandriankobory, 5 kilomètres Nord de Tananarive, page 168.

Fig. 2. - Ancienne porte (gneiss) de Tananarive, page 169.

PLANCHE 21

Fig. 1. — Malgache pilant le riz dans un *mortier de granite*. Hauts-Plateaux.

Fig. 2. — *Forge indigène. Ibid.*

Fig. 3. — *Travertin* édifié sur le bord de la Mazy par la *source thermale* de Mahatsinjo. La ctypéite se forme dans un griffon ouvert dans ce tuf, page 207.

PLANCHE 22

Fig. 1, 2, 3 et 4. — Lames minces de *ctypéite*, avec ou sans noyau central de quartz. Le ciment *d'aragonite* est particulièrement visible dans les fig 3 et 5, page 208[2].

Lumière polarisée. Grossissement de 10 diamètres.

PLANCHE 23

Fig. 1 à 3. — *Ctypéite* pseudomorphisée en calcite. Andranomandevy, page 210.

Fig. 4. — Ctypéite pseudomorphisée en quartz. Environs du Fonjay, page 211.

Lumière polarisée. Grossissement de 10 diamètres.

1. Cf. aussi tome I, page 26.
2. Voir aussi tome I, page 288.

PLANCHE 24

Fig. 1 à 3. — Phases successives de *l'écrasement d'une pegmatite* à grands éléments, aboutissant à une *mylonite* (fig. 4). Marotseva.

(Lumière polarisée) (Grossissement 30 diamètres), page 441.

PLANCHE 25

Fig. 1. — *Gabbro ouralitisé*. Ambohipaka, page 46.

Fig. 2. — *Ibidem*. Nord du mont Vohibe, page 46.

Fig. 3. — *Ortho-amphibolite* dérivant de gabbros (type granoblastique). Nord d'Antoby, page 516.

Fig. 4. — *Ortho-amphibolite* schisteuse. Mont Tsaramody, page 518.

Lumière polarisée (Grossissement 60 diamètres).

PLANCHE 26

Fig. 1 et 2. — *Ortho-pyroxénite amphibolique* et feldspathique. Lohasaha ; portion pyroxénique (fig. 1), portion amphibolique (fig. 2), page 512.

Fig. 3. — *Ortho-pyroxénite feldspathique et amphibolique*. Tongafeno, page 452

Fig. 4. — *Ibidem*. Ouest du mont Andringitra.

Lumière polarisée (Grossissement de 60 diamètres).

PLANCHE 27

Fig. 1. — *Para-gneiss* à anorthite, mont Manavia, page 561.

Fig. 2. — *Wollastonitite à scapolite*. Vallée du Manambolo (Androy), page 552.

Fig. 3. — *Scapolite à diopside* Andranovato, page 569.

Fig. 4. — *Para-gneiss à diopside et scapolite*. Rivière Manakaralahy, page 567.

Lumière polarisée (Grossissement 60 diamètres).

PLANCHE 28

Fig. 1. — *Grenatite feldspathique*, à structure granoblastique. Antambohobe, page 564.

Fig. 2. — *Ibidem*, avec épidote, page 564.

Fig. 3. — *Grenatite feldspathique*, à structure pœciloblastique. Ejeda à Ampanihy, page 564

Fig. 4. — *Grenatite à scapolite*. Mikaikarivo, page 564.

Lumière polarisée ; le minéral noir est le grenat (Grossissement de 60 diamètres).

PLANCHE 29

FIG. 1. — *Gabbro amphibolique*, traversé par un filon de *syénite néphélinique* renfermant des *enclaves essexitiques*. Nosy Komba, page 650.

FIG. 2. — *Gabbro amphibolique*, injecté par *syénite néphélinique*. Nosy Komba, page 650.

FIG. 3. — *Cornéenne calcaire*, injectée par *syénite*. Lokobe, page 660.

FIG. 4. — *Syénite néphélinique*, englobant *grenatite*. Nosy Komba, page 660.

Réduction variant de 1/2.

TABLE DES MATIÈRES

TROISIÈME PARTIE

MINÉRALOGIE APPLIQUÉE

(Gîtes métallifères et minéraux.)

CHAPITRE PREMIER

GITES MÉTALLIFÈRES (MÉTAUX PRÉCIEUX)

CHAPITRE II

GITES MÉTALLIFÈRES (MÉTAUX COMMUNS)

CHAPITRE III

GEMMES, PIERRES D'ORNEMENTATION, PIERRES D'INDUSTRIE

CHAPITRE IV

MÉTAUX RARES ET MICAS

CHAPITRE V

CHAPITRE VI

SEL ET PRODUITS DIVERS

CHAPITRE VII

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION ET DIVERS

CHAPITRE VIII

COMBUSTIBLES MINÉRAUX

CHAPITRE IX

SOURCES MINÉRALES

CHAPITRE X

STATISTIQUES

QUATRIÈME PARTIE

LITHOLOGIE

PREMIÈRE DIVISION

ROCHES INTRUSIVES ET FILONIENNES DU MASSIF CRISTALLIN

CHAPITRE PREMIER

ROCHES QUARTZIQUES

CHAPITRE II

PEGMATITES ET APLITES

CHAPITRE III

SYÉNITES ET SYÉNITES NÉPHÉLINIQUES

CHAPITRE IV

ROCHES A PLAGIOCLASES

CHAPITRE V

DÉFORMATIONS ET TRANSFORMATIONS DES ROCHES ÉRUPTIVES

CHAPITRE VI

PHÉNOMÈNES DE CONTACT DES ROCHES ÉRUPTIVES

DEUXIÈME DIVISION

SCHISTES CRISTALLINS

CHAPITRE PREMIER

GNEISS ET MICASCHISTES

CHAPITRE II

QUARTZITES

CHAPITRE III

ROCHES ESSENTIELLEMENT MAGNÉSIENNES

CHAPITRE IV

ROCHES ESSENTIELLEMENT CALCAIRES

CHAPITRE V

ROCHES EXCLUSIVEMENT FERRIFÈRES OU ALUMINEUSES

TROISIÈME DIVISION

ROCHES INTRUSIVES POST-LIASIQUES

CHAPITRE PREMIER

ROCHES QUARTZIQUES

CHAPITRE II

SYÉNITES ET SYÉNITES NÉPHÉLINIQUES

CHAPITRE III

SÉRIE SYÉNITO-THÉRALITIQUE

CHAPITRE IV

ROCHES A FELDSPATHOÏDES SANS FELDSPATHS

CHAPITRE V

PLAGIOCLASITES

CHAPITRE VI

PHÉNOMÈNES DE CONTACT DES ROCHES INTRUSIVES POST-LIASIQUES

CHARTRES. — IMPRIMERIE DURAND, RUE FULBERT.

MADAGASCAR

ESSAI DE GÉOGRAPHIE PHYSIQUE

Par E. F. GAUTIER

Agrégé de l'Université, Docteur ès lettres, ancien directeur de l'enseignement à Tananarive.

Un volume grand in-8° (1902), avec cartes et planches hors texte.
Relié demi-chagrin. . , . . , ... 60 fr.

L'EMPIRE COLONIAL DE LA FRANCE

MADAGASCAR

LA RÉUNION. — MAYOTTE. — LES COMORES. — DJIBOUTI

Texte par le R. P. Piolet et Ch. Noufflard
Illustrations de COURTELLEMONT

Un volume in-4° (1909), broché. . . . . 44 fr.

MADAGASCAR

ÉTUDE ÉCONOMIQUE

Publiée sous la direction de M. LOISY.

Histoire. — Géographie. — Organisation. — Agriculture. — Élevage.
Forêts. — Pêches. — Richesses minières. — Hygiène.

Par MM. Fauchère, Aujas, Viguier, Carle, Carougeau, Gruvel, Lacroix, Bonnefond, Renel, Bounafous, Jacques.

Introduction par M. le Gouverneur Général GARBIT.

Un volume in-8° illustré (1914). . . . . 15 fr.

MADAGASCAR

LES BOIS DE LA FORÊT D'ANALAMAZAOTRA

Par H. LECOMTE

Membre de l'Institut, professeur au Muséum d'histoire naturelle

et A. FAUCHÈRE

Inspecteur général d'agriculture coloniale.

Un volume grand in-8° avec planches hors texte. . . . . . 100 fr.

CHARTRES. — IMPRIMERIE DURAND, RUE FULBERT.